



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

**Dipartimento di Psicologia Generale
Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e
della Socializzazione**

**Corso di laurea Magistrale in Neuroscienze e
riabilitazione neuropsicologica**

Tesi di laurea Magistrale

Controllo semantico ed esecutivo: qual è la loro relazione?

Relatrice

Prof.ssa Francesca Peressotti

Correlatrice esterna

Dott.ssa Maria Montefinese

Laureanda: Giorgia Paoletti

Matricola:1238569

Anno Accademico 2021-2022

INDICE

Introduzione	4
CAPITOLO 1: Rappresentazione semantica	7
1.1 Rappresentazione semantica modelli e teorie	7
1.1.1 Modelli delle reti associative.....	9
1.1.2 Modelli basati sulla caratteristica semantica.....	13
1.1.3 Modelli semantici distribuzionali.....	16
1.2 Tipologie di fonti di informazioni	20
1.2.1 Informazioni esperienziali.....	22
1.2.2 Informazioni linguistiche.....	26
1.2.3 Come si combinano le diverse fonti?.....	28
CAPITOLO 2: Controllo semantico	32
2.1 Teoria del controllo semantico	32
2.1.1 Basi neurali del controllo semantico.....	33
2.1.2 Demenza e afasia semantica.....	37
2.1.3 Teorie sui deficit di controllo semantico.....	42
2.2 La cognizione semantica controllata	46
2.3 Sovrapposizione tra processi di controllo semantico ed esecutivi	50
CAPITOLO 3: La ricerca	53
3.1 Scopo della ricerca	53
3.2 Materiali e metodi	55
3.2.1 Partecipanti.....	55
3.2.2 Materiali.....	55
3.2.3 Procedura.....	57
3.2.4 Analisi statistica.....	58
3.3 Risultati	59
3.4 Discussione	64

Conclusioni.....	68
<i>Bibliografia.....</i>	<i>70</i>

Introduzione

L'esperienza che abbiamo del mondo può essere completa e comprensibile per l'uomo grazie al passaggio attraverso la semantica che ci permette di comprendere quello che sperimentiamo, sia a livello sensoriale che a livello astratto, attraverso il filtro delle nostre esperienze. Questa conoscenza è organizzata in un magazzino di memoria chiamata rappresentazione semantica (o memoria semantica). Tuttavia, per poter utilizzare in modo efficace questa conoscenza alcuni processi di controllo intervengono per permetterne il suo recupero in modo adeguato alle diverse circostanze della vita. In particolare, il modello duale della cosiddetta *cognizione semantica controllata* (Lambon Ralph et al., 2017) descrive il funzionamento delle due componenti distinte e integrate, rappresentazione e controllo:

- 1) il sistema di rappresentazione organizza la conoscenza sui vari concetti appresi attraverso le relazioni tra fonti di informazioni sensoriali/motorie/linguistiche/affettive e opera in un'area largamente distribuita nella corteccia cerebrale;
- 2) il sistema di controllo manipola l'attivazione all'interno della rappresentazione e permette di fare inferenze e produrre comportamenti appropriati al contesto.

Per quanto riguarda l'organizzazione della rappresentazione semantica, Lambon Ralph e collaboratori (2017) si sono ispirati al modello "hub and spoke" di Patterson e collaboratori (2007), in cui con "spoke" ci si riferisce alle informazioni multimodali che vengono estratte dall'esperienza e immagazzinate nelle varie cortecce cerebrali modalità-specifiche. Per "hub" si intende il centro cerebrale trans-modale che media le interazioni cross-modali tra tutte le fonti di informazione modalità-specifica localizzato nei lobi

temporali anteriori. Tuttavia, va fatto notare che tuttora esistono delle teorie che considerano la rappresentazione semantica come localizzata esclusivamente in aree distribuite del cervello, dove quindi le informazioni modalità-specifiche non passerebbero attraverso un centro trans-modale per la creazione di un concetto, ma solo attraverso un collegamento diretto delle varie regioni modalità-specifiche. Questo modello prevede che a sovrintendere il lavoro dei due centri (hub and spokes) ci sia un sistema di controllo, il quale agisce su una vasta rete di aree che interagiscono con quelle della rappresentazione semantica supportando la memoria di lavoro e altre funzioni esecutive nel recupero di informazioni appropriate al tempo, alla situazione e al compito. Tale compito di controllo sarebbe supportato da aree prefrontali e non solo. Infatti, oltre alla corteccia prefrontale laterale, sono coinvolte altre aree come il giro temporale medio posteriore e il solco intraparietale che avrebbero un ruolo cruciale per il completamento di compiti semantici ad elevato carico esecutivo, l'area motoria pre-supplementare, la corteccia cingolata anteriore e prefrontale ventromediale (Whitney et al., 2011). In modo importante, i processi di controllo semantici attivano aree cerebrali che sono legate anche alle aree coinvolte nelle funzioni esecutive generali, come il solco frontale inferiore e il solco parietale inferiore (Lambon Ralph, Jefferies, Patterson & Rogers, 2017). A supporto di questo pattern di risultati, diversi studi, tra cui quello di Thompson e collaboratori (2018) mostrano come pazienti afasici, (che hanno un disturbo nella comprensione/produzione del linguaggio) mostrano un deficit specifico nei processi di controllo semantici (che viene definito afasia semantica), e non a livello della rappresentazione semantica, che correlano con i deficit nelle funzioni esecutive. Insieme questi risultati mettono in dubbio l'esistenza di un sistema di controllo semantico che sia indipendente dalle funzioni esecutive. Ciò indica quanto le aree prefrontali, pur non essendo aree prettamente legate

alla funzione semantica in sé, siano fondamentali per un corretto funzionamento di queste capacità.

Partendo da questo presupposto ci si può chiedere quanto, allora, funzioni esecutive e cognizione semantica siano correlate tra loro. Alla base di questo elaborato si trova proprio tale domanda. Partendo da una rassegna della letteratura sugli argomenti principali, nel Capitolo 1 tratterò la teoria e la storia riguardante la rappresentazione semantica concentrandomi anche sulle tipologie di informazioni codificate in questo sistema di memoria e nel Capitolo 2 analizzerò la letteratura riguardante il controllo semantico e il suo legame con la rappresentazione semantica e le funzioni esecutive. Infine, nel Capitolo 3 descriverò lo studio sperimentale in cui abbiamo indagato la relazione tra controllo semantico e funzioni esecutive grazie all'utilizzo di forme parallele di compiti che valutano le due funzioni, nello specifico un compito di go/no-go nella forma classica (esecutiva) e semantica.

CAPITOLO 1: RAPPRESENTAZIONE SEMANTICA

1.1 Rappresentazione semantica: modelli e teorie

Perché se stiamo leggendo un libro ma non abbiamo a disposizione un SEGNALIBRO riusciamo a comprendere senza eccessivo sforzo che un qualsiasi pezzo di CARTA può essere usato per questo scopo? Semplicemente perché la nostra esperienza ci ha insegnato anche tale uso della carta, o perché l'abbiamo visto in prima persona o perché ci è stato comunicato, rendendo quindi facile l'associazione tra "segnalibro" e "pezzo di carta". Perché se ci viene chiesto di nominare un FELINO siamo più velocemente in grado di rispondere GATTO piuttosto che LINCE nonostante entrambe siano risposte corrette? Perché nella nostra vita quotidiana è più comune venire in contatto con il termine "gatto" o anche solo perché è più probabile avere a che fare nella nostra vita con tali animali. Questi brevi esempi sono utili per capire come tutto ciò che esperiamo nella quotidianità nell'arco della nostra vita venga immagazzinato, andando a creare una raccolta di informazioni multimodali sul mondo che ci circonda. Questo magazzino mnemonico contiene, in altre parole, le rappresentazioni mentali dei significati dei concetti in cui, di volta in volta, ci imbattiamo nel corso della nostra vita. In letteratura, la capacità di codificare la conoscenza dei concetti attraverso l'apprendimento di relazioni di ordine superiore tra fonti di informazioni di vario tipo (per esempio, sensoriali, motorie, linguistiche e affettive) ampiamente distribuite nella corteccia cerebrale, viene definita rappresentazione semantica (Lambon Ralph et al., 2017). La rappresentazione semantica è, l'insieme dei significati di tutto ciò che accade intorno a noi per poi poter elaborare una risposta adeguata alla situazione. Nel corso degli anni diverse teorie e modelli si sono susseguiti per comprendere la struttura e il funzionamento di questo magazzino di

memoria, ma ad oggi, la teoria più diffusa è quella proposta da Lambon Ralph e collaboratori di cui discuteremo successivamente in questo scritto. Il primo a ipotizzare l'esistenza di un magazzino di memoria semantica fu Tulving (1972) per differenziare tra memoria episodica e semantica: l'autore spiega come entrambi i tipi di memoria siano due sistemi di processamento di dati che ricevono informazioni da vari sistemi cognitivi, trattenendo diversi aspetti di tali informazioni che poi verranno trasmesse ai meccanismi deputati al recupero quando queste sono necessarie per una specifica situazione. Questi due sistemi differiscono però in base al tipo di informazione mantenuta (riferimenti autobiografici e cognitivi, rispettivamente per la memoria episodica e semantica), dalle conseguenze del recupero e dalla loro vulnerabilità alle interferenze. Per quanto ad oggi questa concezione appaia alquanto immediata, è stato comunque un passo fondamentale quello di considerare una divisione della capacità mnemonica basata su tali diversità. In epoca moderna l'esistenza di questo magazzino di memoria semantica separato è stata confermata da diverse ricerche che, nel corso degli anni hanno proposto altrettante teorie riguardo al funzionamento e alla struttura di questo magazzino semantico. Per quanto riguarda le teorie più recenti, nella sua review Kumar (2021) distingue tre gruppi principali:

- modelli delle reti associative (Collins & Quillian, 1969; Steyvers & Tenenbaum, 2005);
- modelli basati sulla caratteristica semantica (Smith et al., 1974);
- modelli semantici distribuzionali (Lund & Burgess, 1996).

Nei paragrafi successivi descriverò queste tre classi partendo dalle loro radici storiche per arrivare alla visione contemporanea su queste teorie.

1.1.1 Modelli delle reti associative

Il modello originale alla base di questo gruppo è quello proposto in una ricerca di Collins e Quillian (1969). Questi autori hanno studiato come i partecipanti usano la memoria semantica per verificare la veridicità di frasi proposte, e hanno osservato che i tempi di recupero delle informazioni erano consistenti con la presenza di un network di memoria organizzato in modo gerarchico in cui i vari nodi rappresentano le parole e i legami tra nodi sono le proposizioni semantiche legate a tali parole (vedi Figura 1.1.1).

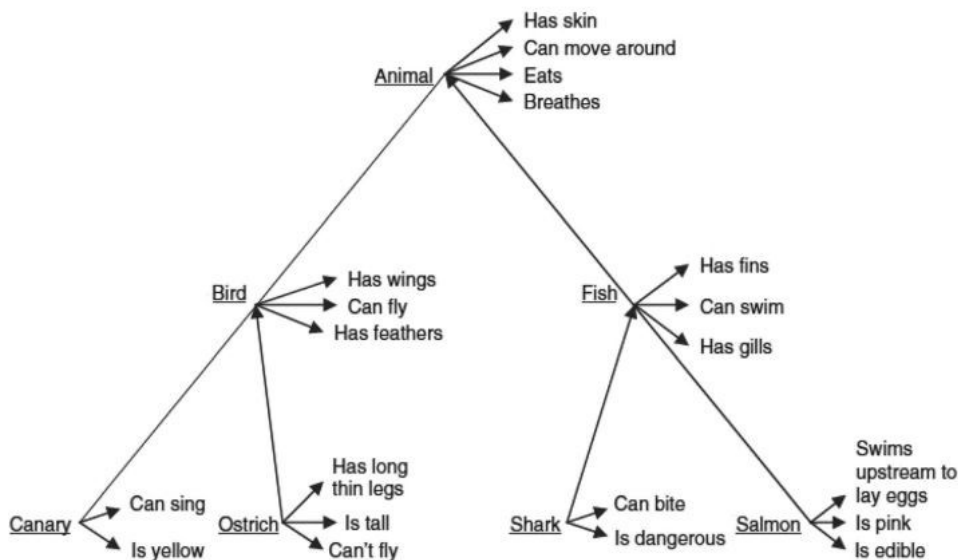


Figura 1.1.1 Network semantico originale proposto da Collins e Quillian (1969). Tratto da Balota e Coane (2008).

Il funzionamento di questo modello si basa su un sistema di attivazione a diffusione, dove ogni nodo del network viene attivato individualmente portando all'attivazione a catena di quelli vicini e così fino ad arrivare al target per la risposta. Questo schema, tuttavia, non spiega l'effetto di tipicità (per esempio, si è più rapidi ad associare FELINO a GATTO piuttosto che a LINCE, come nell'esempio nell'introduzione a questo capitolo) e la presenza di latenze diverse tra frasi false (per esempio, i partecipanti sono più lenti a rifiutare l'associazione FARFALLA-UCCELLO piuttosto che DELFINO-UCCELLO).

Successivamente, Collins e Loftus (1975), per trovare una soluzione a questo problema, hanno proposto un modello revisionato in cui i legami tra le parole dipendono dalla forza della relazione tra esse, per cui, nello schema presente in Figura 1.1.2 le linee più brevi rappresentano una relazione maggiore tra le parole/nodi che collegano.

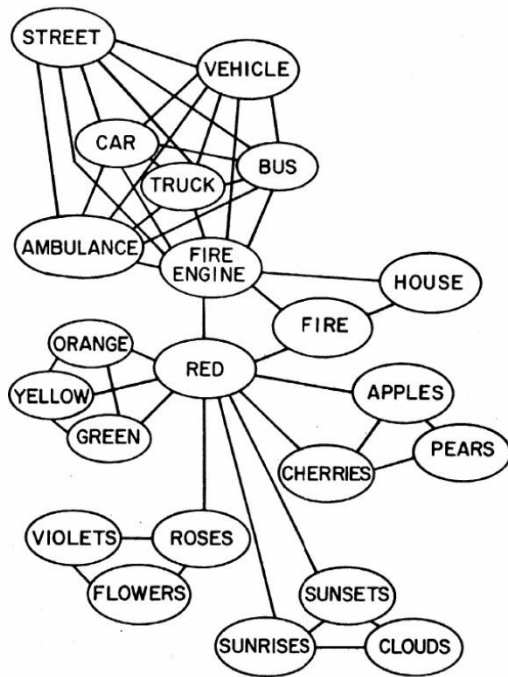


Figura 1.1.2 Rappresentazione dei legami per il modello di Collins e Loftus (1975). Tratto da Collins e Loftus (1975).

Gli approcci moderni basati sui network si avvalgono di ampi database per costruire le reti e comprendere le relazioni su larga scala tra nodi all'interno di tali reti. Questo tipo di approccio è stato utilizzato non solo nell'ambito del linguaggio, ma anche per studiare disturbi psicologici, sistemi biologici e persino eseguire studi empirici sul World Wide Web. Tornando all'ambito della memoria semantica, pionieri in questo tipo di approccio sono stati Steyvers e Tenenbaum, i quali, nel loro lavoro del 2005, hanno costruito tre network semantici utilizzando norme di associazione libera tra parole dove si chiedono ai partecipanti di produrre da 1 a 3 parole in risposta a una parola cue (come si vede, per esempio, nel progetto multilinguistico Small World of Words:

<https://smallworldofwords.org/it/project/home>), il Thesaurus di Roget e WordNet (un database semantico-lessicale per la lingua inglese elaborato originariamente da Miller nel 1995 ma poi sviluppato in tante altre lingue che si propone di organizzare, definire e descrivere i concetti espressi dai vocaboli). Le reti semantiche ottenute in base alle tre misure elencate sopra mostrano una struttura “a piccolo mondo” con scarsa connettività tra parole, percorsi tra parole, in media, di breve lunghezza (ossia, sono richiesti in media pochi passaggi per andare da un nodo all’altro del network) e forte clustering locale (una metrica che descrive l’estensione a cui le parole vicine a un nodo sono interconnesse ed è un indicatore della densità della rete). Inoltre, queste reti mostrano un pattern di connettività in cui ci sono molti nodi con poche connessioni, legati tra loro attraverso centri con numerose connessioni (vedi un esempio nella Figura 1.1.3).

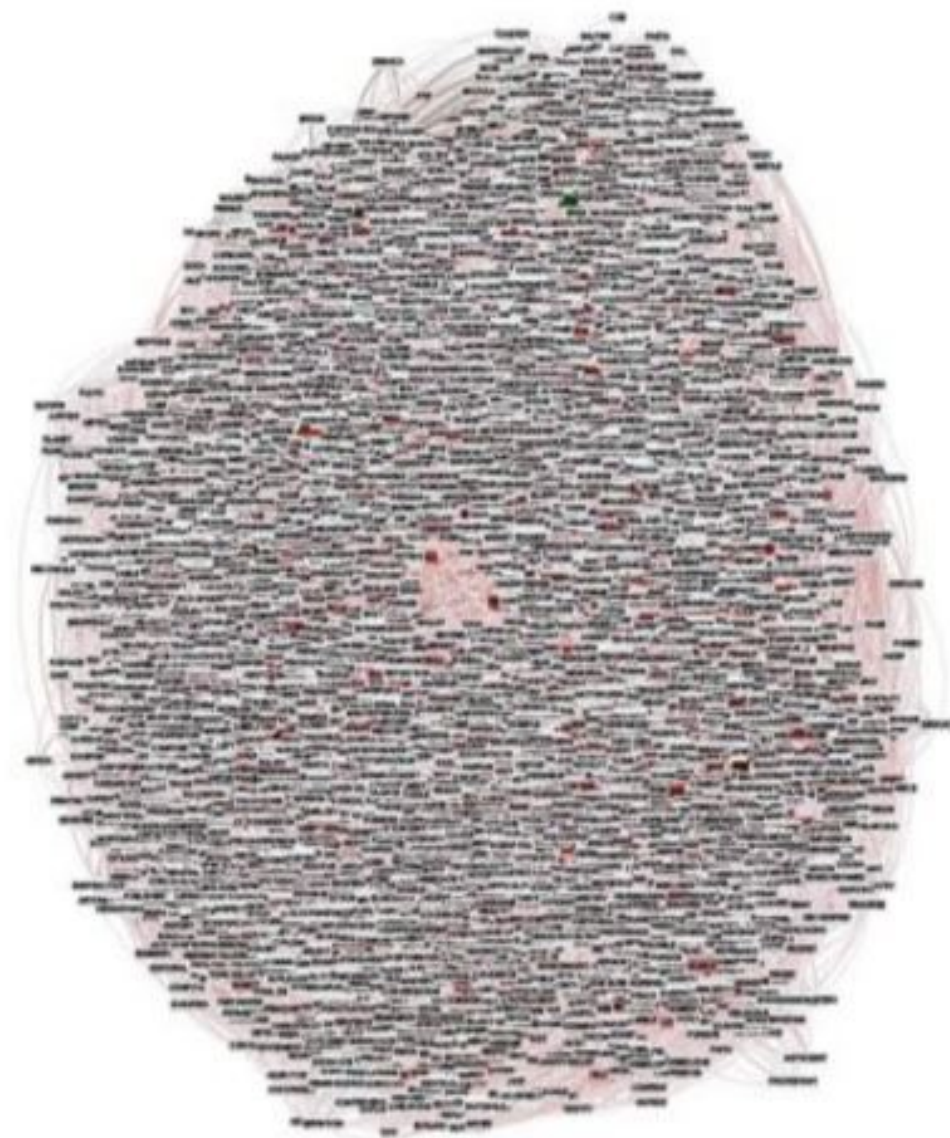


Figura 1.1.3 Rappresentazione grafica di un network semantico secondo la teorizzazione di Steyvers e Tenenbaum (2005) in cui si può notare quanto sia forte la relazione tra parole in una rete. Tratto da Kumar, Balota, e Steyvers (2019).

Queste tipologie di reti semantiche moderne si sono dimostrate capaci di predire la prestazione dei partecipanti in diversi compiti cognitivi. Tuttavia, sono diversi i punti critici sollevati, tra cui l'utilizzo di norme di associazione libera per la creazione dei network. Infatti, non è chiaro quanto di quello che viene individuato possa essere letto come un indizio sulla presenza di una rete che lega le parole con maggiore o minore forza, o se possa essere frutto di un semplice processo di recupero di una rappresentazione.

Sembra quindi che questa tipologia di modelli manchi di un meccanismo esplicito che spieghi come le parole si associno tra di loro in primo luogo; cioè manca una teoria sull'origine della rappresentazione semantica. Studi più recenti, hanno cercato di risolvere questo problema creando reti che si basano su un modello di apprendimento anziché comportamentale (Nematzadeh et al., 2016), incorporando nei loro modelli anche i meccanismi di apprendimento e permettendo di indagare l'origine delle associazioni tra parole e dei legami all'interno dei network. Per esempio Nematzadeh e collaboratori (2016) basano il loro studio su un apprendimento naturalistico del linguaggio (appreso attraverso l'uso della lingua) e mostrano come questo sia sufficiente per creare rappresentazioni ricche e per formare una struttura della memoria semantica capace di supportare un efficiente accesso in tempo reale.

1.1.2 Modelli basati sulla caratteristica

Questi modelli si basano sull'assunto che i concetti siano rappresentati in memoria con una serie di caratteristiche (o attributi) binarie semantiche e il grado di correlazione tra queste caratteristiche determina quanto questi concetti abbiano un significato simile. Un modello che si fonda su queste premesse è quello di Smith e collaboratori, proposto nel 1974, e definito come “modello di confronto delle caratteristiche”, secondo il quale i concetti comprendono due tipi di caratteristiche semantiche: quelle definitive che accomunano tutti i concetti (tutti gli uccelli “hanno le ali”) e gli attributi caratteristici che accomunano solo alcuni esemplari (non tutti gli uccelli “volano”). Secondo questo modello, quindi, la somiglianza tra concetti si misura attraverso un processo di comparazione di caratteristiche ed è stato visto come il grado di sovrapposizione tra

caratteristiche di due concetti predica tempi di verifica di frasi, effetti tipicità e differenze nei tempi di risposta in compiti di identificazione di frasi false (Smith et al., 1974). Un'altra teoria che riprende la centralità della sovrapposizione di caratteristiche come indice di similarità tra concetti è quella di Tversky (1977), che è risultata utile per spiegare l'asimmetria in giudizi di similitudine e differenze per parole, forme e lettere. In questo modello è stato evidenziato il contrasto tra attributi comuni e condivisi tra più concetti e quelli distintivi appartenenti solo a uno o pochi concetti. L'importanza dei valori di distintività e correlazione di caratteristiche è stata studiata anche nell'ambito dei deficit semantici legati a pazienti con aree cerebrali danneggiate, in particolare in pazienti con Alzheimer. Si è notata una differenza tra deficit semantici per esseri viventi (disturbi più comuni) e non-viventi (Hillis & Caramazza, 1991). Diversi autori ritengono che questi deficit categoria-specifici siano legati alle specifiche aree danneggiate (Tyler et al., 2000), mentre altri (Devlin et al., 1998; Moss et al., 1998) considerano che, in pazienti con danni cerebrali diffusi, questa dissociazione tra viventi-non viventi si basi su altre dimensioni della conoscenza semantica, tra cui proprio le dimensioni di distintività e correlazione. Le caratteristiche distintive sono fondamentali per distinguere gli esemplari di una categoria, compiti in cui questi pazienti sono enormemente svantaggiati. Al contrario, il valore di correlazione tra concetti sembra avere un effetto protettivo con performance migliori per questi pazienti. In altre parole, caratteristiche correlate sono considerate più resistenti grazie all'attivazione collaterale che ricevono l'una dall'altra (Zannino et al., 2006).

Una problematica comune a questi modelli classici riguarda la mancanza di un metodo sistematico di misurazione delle caratteristiche. Per risolvere tale problema gli autori dei modelli più recenti, si sono impegnati ad incorporare nei loro modelli computazionali

norme semantiche ottenute tramite compiti di generazione di caratteristiche. Questo approccio è stato usato, per esempio, da McRae e collaboratori (McRae, De Sa, & Seidenberg, 1997) i quali hanno chiesto ai partecipanti di elencare le caratteristiche dei concetti presentati, presupponendo che tale lista di caratteristiche rispecchiasse la conoscenza esplicita che i partecipanti avevano su tali concetti. In questo modo gli autori hanno mostrato come le correlazioni tra caratteristiche predicano i tempi di latenza della risposta in compiti di verifica di caratteristiche. Questi studi sono poi stati proposti da diversi autori in diverse lingue per poter costruire set standardizzati di caratteristiche per vari idiomi, come per esempio lo spagnolo (Vivas et al., 2017) e l'italiano (Montefinese et al., 2013). Nel lavoro italiano, le caratteristiche semantiche sono state classificate distinguendo tra le caratteristiche tassonomiche che indicano la categoria superordinata del soggetto (“erbivoro”), quelle enciclopediche che indicano conoscenze generali o relazioni associative (“produce latte”), quelle sensoriali che riguardano uno dei sistemi sensoriali primari (“fatto in vetro”) e infine, quelle funzionali che riguardano l'utilizzo che fa il soggetto dell'entità in questione, con chi entra in contatto solitamente o l'azione/movimento associata all'interazione con essa (“usato da fumatori”) (Montefinese et al., 2013). Uno studio successivo di McRae (2004) mostra anche che queste correlazioni possono predire differenze nell'effetto di priming per parole che indicano esseri viventi e non-viventi, e che spiegano effetti di tipicità. Studi successivi hanno individuato anche altre variabili delle caratteristiche semantiche che possano predire i tempi di latenza, come la significanza semantica (Montefinese et al., 2014). Il concetto di significanza semantica si basa sul concetto di rilevanza semantica (Sartori & Lombardi, 2004) in quanto entrambi sono indici di importanza, salienza, della caratteristica. Sia per la significanza che per la rilevanza semantica, gli autori distinguono due componenti, una

locale e una globale, dove la prima riflette quanto una caratteristica contribuisce al significato di un dato concetto, mentre la seconda riflette la salienza di una caratteristica per tutto il set di concetti nelle norme e indica quanto importante è una caratteristica per identificare e distinguere un concetto tra quelli simili (ossia, distintività). Mentre, la componente globale è uguale tra le due misure (entrambe usano la distintività della caratteristica), la componente locale è diversa: per la rilevanza semantica viene denominata dominanza ed è il numero di partecipanti che indica un certo attributo per un certo concetto in un compito di produzione di caratteristiche, mentre nella significanza semantica, la componente locale è costituita dall'accessibilità semantica, una misura composta che prendere in considerazione sia la dominanza che l'ordine di produzione delle caratteristiche (che indichi la priorità con cui quest'ultime emergono in risposta al dato concetto).

Come per i modelli delle reti associative, anche qui una problematica portata alla luce riguarda la mancanza di una spiegazione di come avvenga a monte l'apprendimento delle conoscenze sulle varie caratteristiche e concetti.

1.1.3 Modelli semantici distribuzionali

Diversamente dalle due famiglie precedenti, questa tipologia di modelli, che per semplicità può essere indicata come DSM (“distributional semantic models”), si è interessata al quesito sull'apprendimento delle informazioni sulle parole. Infatti questi modelli forniscono informazioni sui meccanismi espliciti riguardo a come le varie caratteristiche legate ad un concetto vengano apprese attraverso l'ambiente, e non utilizzano libere associazioni o norme per costruire le rappresentazioni semantiche, ma

impiegano regolarità statistiche prese da un corpus linguistico ampio. Questa metodologia si basa sull'assunto che grandi corpi testuali siano un buon indicatore del linguaggio a cui gli individui sono esposti nella vita quotidiana e quindi fondamentali per cogliere i pattern di co-occorrenza di parole che compaiono spesso negli stessi contesti per poter inferire le associazioni tra tali parole. La teoria alla base di questa concezione del linguaggio risale formalmente al 1970 quando Harris ha ufficializzato la sua ipotesi distribuzionale secondo la quale i significati delle parole derivano dalla loro distribuzione in diversi testi linguistici e tale distribuzione può essere rappresentata da un vettore che descrive la frequenza di occorrenza della parola con altre. I DSM ipotizzano l'esistenza di due distinti meccanismi che permettono l'apprendimento associativo: uno *error-free* e il secondo *error-driven*. I meccanismi *error-free* suppongono che l'apprendimento avvenga attraverso l'identificazione di cluster di eventi che tendono a co-occorrere con vicinanza temporale. Essi si basano sulla notazione di Hebb (1949) di come i neuroni aggiustino il ritmo della loro attivazione in risposta all'attivazione di altri neuroni vicini. Tra i modelli che hanno utilizzato questa tipologia di meccanismo possiamo contare il modello "Hyperspace Analogue to Language" (HAL) di Lund e Burgess (1996) che è anche uno dei primi DSM proposti. Qui le rappresentazioni vengono costruite contando l'occorrenza di parole in un range di 5-10 parole e il grado di co-occorrenza tra due termini è inversamente proporzionale alla distanza dei due all'interno della finestra (Figura 1.1.4). Un ulteriore modello di interesse è il "Latent Semantic Analysis" (LSA) di Landauer e Dumais (1997) per il quale la rappresentazione semantica di una parola è considerata come un pattern distribuito su più dimensioni. Questo modello inizia dalla costruzione di una matrice delle parole di un corpus testuale, in cui ogni riga rappresenta la frequenza di una parola in ogni documento corrispondente. A differenza di HAL, LSA prima trasforma

questi semplici conteggi di frequenza in frequenze logaritmiche ponderate dall'importanza complessiva della parola sui documenti, per sminuire l'influenza di parole frequenti non importanti nel corpus. Questa matrice trasformata viene quindi fattorializzata con una tecnica di analisi fattoriale utilizzata per dedurre dimensioni latenti da una rappresentazione multidimensionale. Questa struttura del modello permette di evidenziare relazioni globali o indirette tra parole, anche se queste non sono mai co-occorse in una frase o documento, ma solo perché si presentano di solito in contesti simili. Tuttavia, questo modello manca di meccanismi per l'apprendimento incrementale e suppone che il significato di una parola venga appreso solo dopo che sia disponibile un ampio set di informazioni di co-occorrenza. Ad oggi ci sono diversi DSM che si rifanno all'apprendimento incrementale, tra i quali, per esempio, il modello di Jones e Mewhort chiamato BEAGLE (2007, ossia, "Bound Encoding of the Aggregate Language Environment"), secondo il quale le rappresentazioni semantiche si costruiscono gradualmente proseguendo con il processamento del testo contestuale.

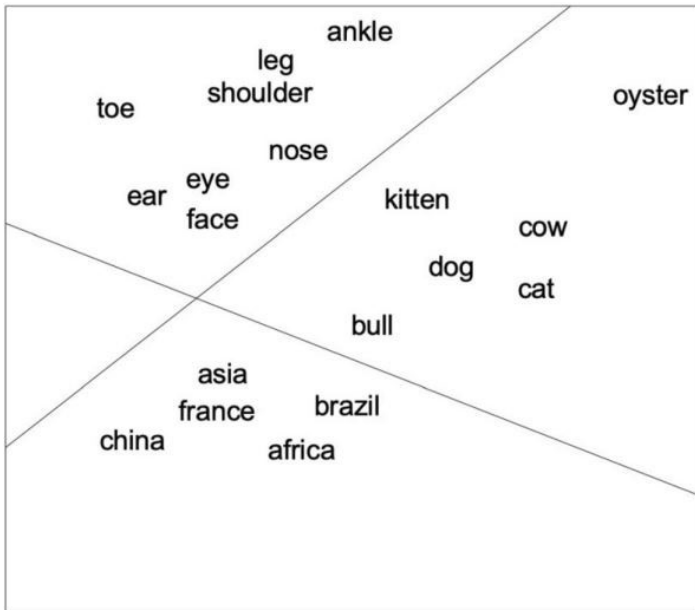


Figura 1.1.4 Matrice dimensionale delle relazioni semantiche in cui parole più vicine spazialmente hanno anche un maggior grado di relazione Tratto da Lund & Burgess (1996).

I meccanismi error-driven, invece, teorizzano che l'apprendimento avvenga quando si applicano metodi di correzione degli errori alle predizioni di eventi in risposta a stimoli. Tra i diversi modelli si possono individuare vari tipi di meccanismi di correzione dell'errore, ma generalmente tutti si basano sui principi di Rescorla e Wagner (1972) sulla cognizione animale, i quali ipotizzarono che l'apprendimento potrebbe essere guidato dagli errori di aspettativa. Modelli che seguono questo tipo di meccanismo vengono definiti "connessionisti" e generalmente comprendono un livello di input, un livello di output e una o più unità intermedie che vengono definite livelli nascosti, ognuno dei quali contiene uno o più "nodi" o unità. Con l'arrivo di uno stimolo esterno si attivano i nodi di input portando all'attivazione o soppressione delle unità a queste collegate, in base alla forza delle connessioni tra di esse. Questo percorso prosegue fino a raggiungere gradualmente le unità di output. Uno dei primi modelli connessionisti proposti fu quello di Rumelhart e Todd (1993); ad oggi, il modello più popolare è quello a due livelli del

“word2vec” (Mikolov, Chen, et al., 2013) di cui possiamo distinguere due forme: il “continuous bag of words” e lo “skip-gram”. Con la prima versione si può predire una parola target avendo a disposizione quattro parole di contesto prima e dopo il target, mentre con la seconda versione abbiamo il compito inverso, cioè predire le parole contestuali avendo a disposizione una parola input. Questo modello è utile anche perché riesce a minimizzare il ruolo delle parole frequenti scartandone sopra una soglia con una certa probabilità. Un altro modello successivo, quello dei vettori globali (definito GloVe per “Global Vectors”) di Pennington, Socher e Manning (2014), mostra similarità sia con i modelli error-free che con quelli error-driven. Questo modello stima il rapporto delle probabilità di co-occorrenze tra parole con lo scopo di prevedere il logaritmo di questi rapporti di co-occorrenza attraverso un modello di regressione. Questo modello, quindi, utilizza informazioni globali nel processo di apprendimento ma anche meccanismi error-driven per minimizzare la funzione di costo nel modello di regressione (usando una versione modificata della discesa del gradiente stocastico, simile a word2vec). Inoltre, anche qui si vuole togliere enfasi all’influenza eccessiva di parole frequenti e rare e per fare ciò il GloVe penalizza termini con frequenza estremamente alta o bassa. Il modello GloVe ha dimostrato ottimo funzionamento in compiti di analogia, giudizi di somiglianza delle parole e riconoscimento di entità nominative.

1.2 Tipologie di fonti di informazioni

Tutti i modelli precedentemente visionati spiegano in modi diversi le possibili modalità di formazione di una rappresentazione semantica, ma ci si può chiedere che tipo di informazioni si trovino alla base di questi sistemi. Per rispondere a tale quesito potremmo

riferirci allo studio di Vigliocco e collaboratori (2009) in cui sono state studiate le modalità in cui i diversi tipi di informazioni ottenuti dall'esperienza con il mondo vengono rappresentati a livello cerebrale. Questa ricerca si basa su una visione incarnata della cognizione che la teorizza come fondata su stati corporei, simulazioni modali e azioni situate, assumendo quindi che la rappresentazione semantica e il processamento di tali informazioni reclutino, almeno in parte, gli stessi sistemi neurali coinvolti nella percezione e azione. Diversamente dalle precedenti teorie riguardanti la cognizione incarnata, gli autori si concentrano sul ruolo delle informazioni affettive ed emozionali come un ulteriore tipo di informazione esperienziale. Inoltre ipotizzano che anche il linguaggio stesso sia una fonte vitale di informazioni per la creazione di rappresentazioni semantiche. In particolare, sia il linguaggio, nella sua componente metaforica, che le informazioni affettive/emotive sarebbero fondamentali (anche se non l'unica fonte) nella costruzione di rappresentazioni di parole astratte. Con questo non si vuole affermare che ci sia una completa dicotomia tra significati di parole concrete estrapolati da informazioni esperienziali da una parte e significati di parole astratte ricavati da informazioni linguistiche e affettive dall'altra. Piuttosto, si è visto che queste separazioni apparenti siano dovute a differenze statistiche/quantitative nel tipo di informazione rappresentata: mentre l'informazione sensori-motoria è statisticamente preponderante per i significati concreti delle parole, le informazioni affettive e linguistiche lo sono per i significati astratti, sia per la loro acquisizione che per la loro successiva rappresentazione nel sistema adulto. Questi due tipi di informazioni (esperienziali e linguistiche) vengono poi integrate per poter costruire rappresentazioni semantiche complete.

1.2.1 Informazioni esperienziali

Secondo il modello presentato da Vigliocco e collaboratori (2009), tra le informazioni esperienziali si possono considerare due gruppi principali: le informazioni sensori-motorie e quelle affettive.

Per quanto riguarda le informazioni sensori-motorie, sono diverse le ricerche sia comportamentali che di neuroimmagine che hanno mostrato la grande influenza di queste sull'elaborazione del linguaggio legato ad azioni e percezioni (Boulenger et al., 2006; Meteyard & Vigliocco, 2008). Studi che si avvalgono della Stimolazione Magnetica Transcranica (TMS) hanno provato che la corteccia motoria primaria e le cortecce sensoriali primarie vengono attivate per il processamento di parole e frasi che riguardano informazioni motorie o sensoriali scoprendo, per esempio, che l'ampiezza dei potenziali evocati motori nei muscoli della mano era significativamente più piccola quando si ascoltavano frasi legate ad azioni compiute dalla mano. Lo stesso risultato è stato replicato con le azioni compiute dai piedi (Buccino et al., 2005). Un altro studio da considerare è quello di Kemmerer e collaboratori (2007) che utilizza la risonanza magnetica funzionale (fMRI). Gli autori hanno testato le teorie che si basano sulla cognizione incarnata chiedendo ai partecipanti alla ricerca di dare dei giudizi semantici su cinque classi di verbi, ognuna legata ad una componente semantica specifica come azione, movimento, contatto, cambiamento di stato e utilizzo di oggetti. In linea con la teoria della cognizione incarnata è stato visto che il compito di decisione attiva aree diverse in base alla componente semantica a cui il target apparteneva. Per fare alcuni esempi: le azioni erano legate all'attivazione nelle aree motorie primarie e premotorie, i movimenti erano legati all'attivazione nella corteccia temporale postero-laterale, il contatto al solco intra-parietale e al lobulo parietale inferiore, i cambiamenti di stato alla

corteccia temporale ventrale e l'utilizzo di oggetti ad un network distribuito che comprende aree temporali, parietali e frontali. L'interpretazione di questi studi, tuttavia, può portare diversi problemi. Per quanto riguarda le ricerche comportamentali, le problematiche si basano sulla misura in cui le interazioni identificate riflettono effettivamente l'impiego automatico di rappresentazioni sensori-motorie condivise tra comprensione del linguaggio e compiti sensori-motori, perché molti risultati di tali studi sono suscettibili a spiegazioni alternative legate a bias attenzionali/decisionali piuttosto che a processi/rappresentazioni condivisi. Anche gli studi di neuroimmagine sono suscettibili a interpretazioni alternative riguardo al reclutamento ad hoc di immagini visive-motorie durante il compito di comprensione. Inoltre, contrariamente a quanto teorizzato dalla cognizione incarnata, Meteyard e Vigliocco (2008) sembrano indicare che non sempre potrebbe essere necessaria l'attivazione di rappresentazioni condivise tra percezione/azione ed elaborazione del linguaggio per i parlanti adulti, ma che questa necessità potrebbe esserci invece durante le prime fasi dello sviluppo.

Per quanto riguarda le informazioni affettive, storicamente non si è mai data importanza alla loro influenza a livello semantico, tanto che le emozioni venivano considerate e studiate solo nella loro manifestazione non linguistica e veniva quindi ignorata la relazione con la semantica. Studi successivi hanno però mostrato come ci sia un certo legame tra il processamento del linguaggio e il sistema limbico. Infatti, il sistema sottocorticale impegnato nell'elaborazione delle emozioni di stimoli non verbali (come i volti) è anche impegnato nell'elaborazione della valenza emotiva delle parole. Ad esempio, nello studio di Gaillard e collaboratori (2006) è stato visto che le parole negative presentate in modo subliminale sono meglio identificate rispetto alle parole neutre, e queste innescherebbero effetti di lunga durata nell'amigdala (Naccache et al. 2005).

Diverse ricerche, hanno mostrato che la valenza emotiva di una parola, indipendentemente dalla polarità, abbia un ruolo facilitatore per il riconoscimento della parola. Questa concezione è compatibile con un modello motivazionale degli stati affettivi, come proposto da Lang e colleghi (1990), il quale prevede che gli stimoli che evocano emozioni sono rilevanti a livello motivazionale e portano a modificazioni del comportamento. Con il loro studio, Kousta e collaboratori (2011) hanno mostrato che la valenza emotiva di una parola ha un ruolo più importante nell'apprendimento e nella rappresentazione delle parole astratte piuttosto che quelle concrete. Questo è vero perché prima di tutto le parole legate alle emozioni sono chiaramente astratte, inoltre perché le parole astratte non si avvarrebbero delle associazioni sensori-motorie per favorire l'apprendimento. Questo ruolo facilitatore per l'apprendimento, quindi, viene svolto dalla valenza affettiva. Con un'analisi di regressione, gli autori hanno mostrato che l'affettività è un predittore significativo dell'età in cui si sono apprese parole astratte. In Figura 1.2.1 possiamo vedere l'effetto della valenza emotiva sull'età di acquisizione di parole astratte (da notare che i valori più bassi sull'asse delle x indicano una valenza negativa, i valori più alti indicano valenza positiva). Il grafico mostra una funzione ad U rovesciata indicando che le parole a valenza emotiva (sia positiva che negativa) vengono apprese ad un'età precedente rispetto alle parole neutre. Oltre all'età di acquisizione, anche altre variabili psicolinguistiche sono state prese in considerazione per rilevare le differenze tra parole astratte e concrete: concretezza, immaginabilità, disponibilità del contesto e familiarità. Queste variabili sono state indagate attraverso procedure di rating, in cui ai partecipanti è chiesto di valutare parole target rispetto a ciascuna misura e di assegnare un punteggio che rappresenta il valore di una parola rispetto alla variabile specifica (Setti & Caramelli, 2005; Wauters, Tellings, van Bon, & van Haften, 2003). In particolare, per

concretezza si intende quanto un concetto è direttamente legato all'esperienza sensoriale, per immaginabilità la facilità con cui un concetto riesce a evocare una sua immagine visiva, per disponibilità del contesto quanto è facile associare un concetto a un contesto specifico, e infine, per familiarità, quanta esperienza ho di un concetto. Per quanto riguarda la differenza tra parole astratte e concrete, Della Rosa e collaboratori (2010) hanno trovato che le parole concrete hanno anche punteggi più alti in concretezza, immaginabilità e disponibilità del contesto rispetto alle astratte (Della Rosa et al., 2010).

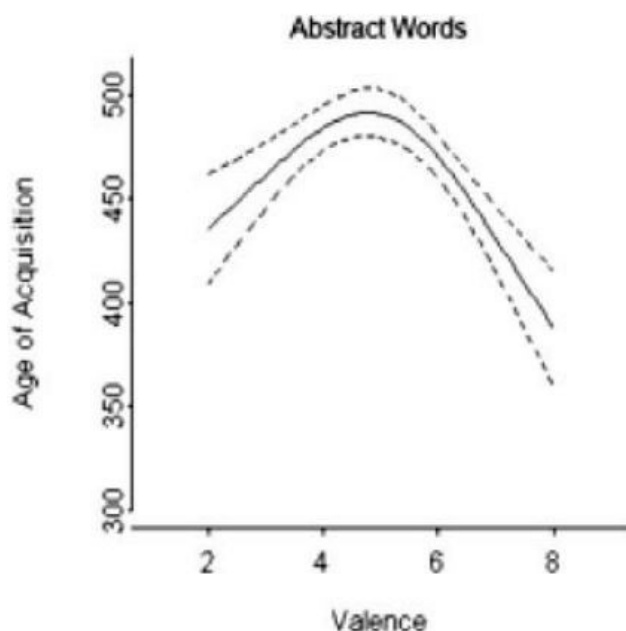


Figura 1.2.1 Grafico rappresentante la relazione quadratica tra valenza emotiva delle parole e età di acquisizione, in cui si mostra che le parole a valenza emotiva sono acquisite prima di quelle neutre. Tratto da Kousta et al., 2011.

Sempre nel loro studio, Kousta e collaboratori mostrano anche che, controllando le variabili sopra elencate, in compiti di decisione lessicale l'elaborazione delle parole astratte mostra un vantaggio dato proprio dalla valenza emotiva che si traduce in tempi di reazione più brevi. Tali differenze tra parole astratte e concrete si sono osservate anche a livello dell'attivazione corticale. Una metanalisi di studi di risonanza magnetica funzionale (fMRI) e tomografia a emissione di positroni (PET) (Wang, Conder, Blitzer

& Shinkareva, 2010) ha mostrato che i concetti astratti determinano una maggiore attività nel giro frontale inferiore e nel giro temporale medio rispetto a quelli concreti. Al contrario, le parole concrete determinano una maggiore attività nella corteccia cingolata posteriore, nel precuneo, nel giro fusiforme e nella corteccia paraippocampale. Questi risultati indicano che le parole concrete richiedono un maggior coinvolgimento dei sistemi percettivi mentre le parole astratte sono maggiormente legate al sistema verbale.

Per riassumere, le teorie della cognizione incarnata considerano il significato delle parole come basato su stati percettivi, motori e affettivi (a seconda che siano parole concrete o astratte) derivanti dalla nostra esperienza sensoriale diretta e dalle nostre azioni. Questa concezione differisce rispetto alle teorie distribuzionali che, invece, considerano il significato delle parole basato sulla loro distribuzione statistica e quindi sulla presenza di regolarità studiate attraverso la lingua parlata e scritta (Andrews, Vigliocco & Vinson, 2009).

1.2.2 Informazioni linguistiche

È alquanto immediato pensare che, almeno in parte, apprendiamo significati in modo implicito ed esplicito attraverso il linguaggio, che sia con testi scritti o con un passaparola verbale. Questa concezione è alla base delle teorie amodali tradizionali della rappresentazione semantica, le quali postulano la presenza di una rappresentazione interna linguistica dei significati. Tra le teorie discusse nel paragrafo precedente, si ricollegano a questa visione i modelli dei network, come per esempio quello di Collins e Loftus del 1975, secondo i quali gli effetti semantici sarebbero il prodotto della forza e tipologia di legame che unisce i lemmi. Riguardo al dualismo tra parole concrete e astratte

ricordiamo la teoria della doppia codifica di Paivio (1986) che sta alla base di tale concezione. Secondo tale teoria le parole astratte sarebbero rappresentate solo attraverso il codice verbale. Infatti anche studi di neuroimmagine (tra cui quello di Sabsevitz et al., 2005) hanno mostrato che in compiti che richiedono accesso automatico alla semantica ci sia una maggiore attivazione nel network cerebrale sinistro del linguaggio (che comprende giro frontale inferiore e solco temporale superiore sinistri) per parole astratte mentre le parole concrete attiverrebbero un network cerebrale bilaterale multimodale delle aree associative (compresa la corteccia temporale ventrale e mediale, parietale postero-inferiore, prefrontale dorsale e corteccia cingolata posteriore). Tuttavia, questi studi come quello sopra citato di Sabsevitz e collaboratori (2005) sono stati criticati poiché tendevano a confondere i concetti di concretezza e immaginabilità. L'importanza delle informazioni linguistiche nella costruzione di rappresentazioni semantiche è sottolineata anche dalle teorie distribuzionali. Tra i modelli discussi nel paragrafo precedente rientrano il modello HAL di Lund e Burgess (1996) e il modello LSA di Landauer e collaboratori (1997). Da aggiungere qui anche il lavoro di Griffiths e collaboratori (2007) i quali hanno creato un modello probabilistico tematico della rappresentazione semantica (che si potrebbe considerare diretto discendente del modello LSA). In questo modello, ogni testo in un corpus può essere visto come una ponderazione probabilistica di un insieme di argomenti, dove a ogni argomento corrispondono distribuzioni di probabilità di parole che enfatizzano certi temi. Quindi i significati delle parole sono rappresentati in termini di un insieme di argomenti probabilistici e l'apprendimento consiste in un processo di inferenza di argomenti.

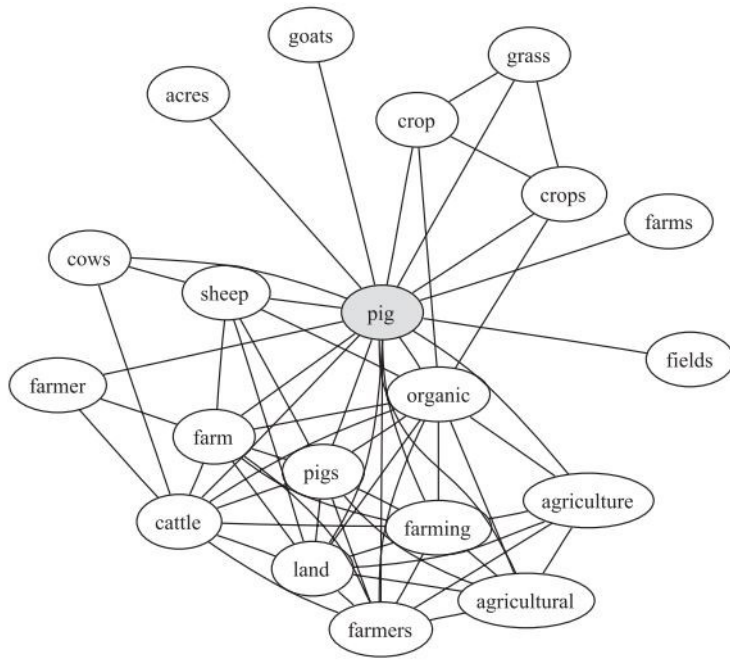
Griffiths e collaboratori hanno mostrato che il loro modello tematico prediceva le norme di associazione libera delle parole, e i tempi di reazione dei partecipanti nei compiti di

priming e di lettura. Le teorie che si basano sulle informazioni linguistiche mostrano però diverse limitazioni, tra cui la più importante è che esse sono disincarnate poiché l'informazione linguistica per sua natura può descrivere solo relazioni tra parole ma non con il mondo fisico. Questa problematica venne definita nel 1990 da Harnad come "problema del fondamento del simbolo" e si basava sulla concezione che questo tipo di modelli creassero un sistema rappresentazionale simile a quello di un computer. L'autore sottolinea infatti che questi modelli presentano due problemi principali: in primo luogo, i simboli non rappresentano nulla per il sistema stesso, almeno non ciò che si dice "designano", ma solo qualcuno che gestisce il sistema potrebbe riconoscere tali simboli come riferiti a entità esterne ad esso; in secondo luogo, quello dei simboli rappresenta un sistema chiuso in cui questi si mettono in relazione solo con altri simboli, rendendo necessario qualcos'altro per stabilire una connessione tra essi e ciò che rappresentano. Inoltre, alcuni ricercatori hanno considerato i pattern di distribuzione delle parole nel linguaggio non come un mezzo per inferire legami semantici, ma come un semplice epifenomeno, arrivando a rigettare del tutto il ruolo delle informazioni linguistiche nella costruzione di rappresentazioni.

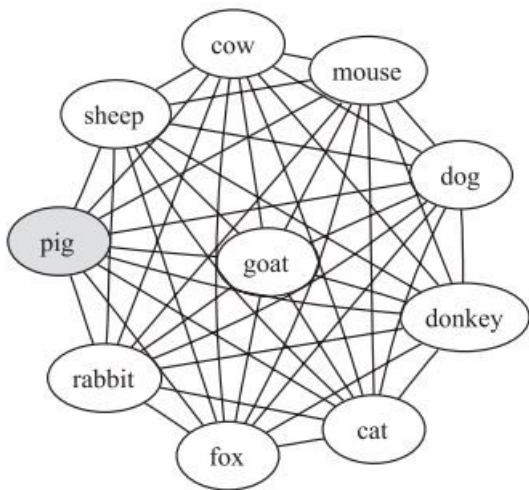
1.2.3 Come si combinano le diverse fonti?

Da quanto analizzato in questo paragrafo, il quadro che si delinea è quello in cui le rappresentazioni semantiche derivano da informazioni sia esperienziali che linguistiche. Si osserva inoltre un dualismo tra rappresentazioni di parole concrete che sarebbero legate ad entrambi i tipi di informazioni e rappresentazioni di parole astratte che, invece, si fondano solo sul magazzino verbale. Andrews e collaboratori (2009) hanno utilizzato tecniche di modellizzazione bayesiana per sviluppare e confrontare i diversi modelli della

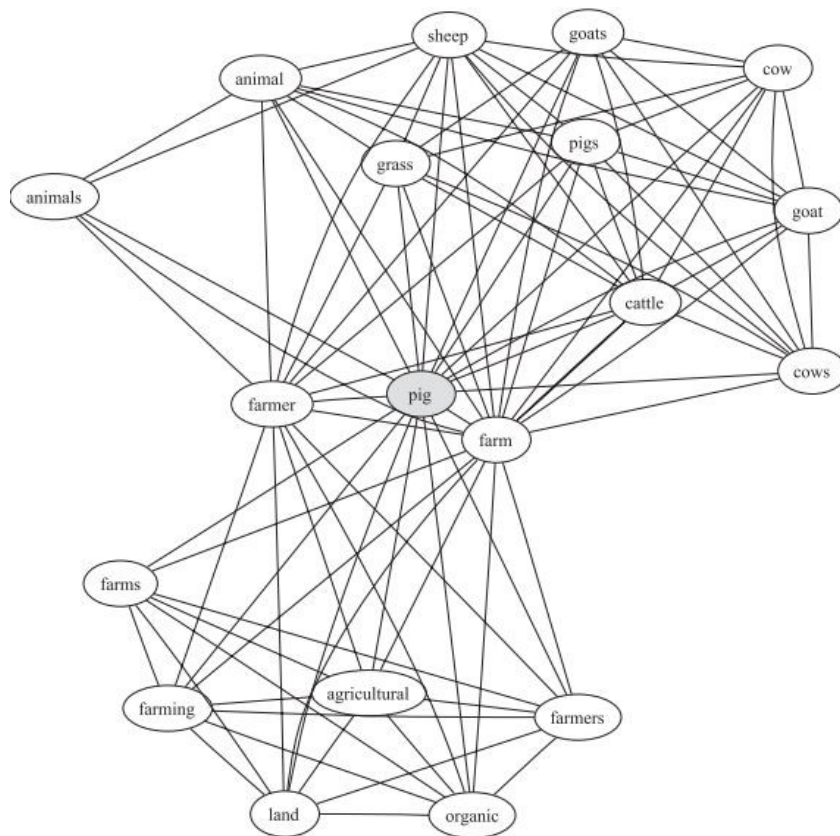
rappresentazione semantica con la stessa architettura ma che si basavano su diverse tipologie di dati: o solo esperienziali, o solo linguistici, o una combinazione dei due tipi di dati. I dati esperienziali sono stati ottenuti attraverso un compito di generazione di caratteristiche. In questo modello le parole sono quindi definite come distribuzioni di caratteristiche semantiche tra i concetti. Per quanto riguarda i dati linguistici, gli autori hanno usato un corpus testuale estratto dal British National Corpus, da cui sono stati derivati i dati distribuzionali. Nel modello distribuzionale, le parole sono definite come probabilità di co-occorrenza delle parole nel corpus analizzato. Il modello combinato, come spiega il termine, combina entrambi questi tipi di informazioni. Lo studio mostra che i modelli esperienziali e linguistici rappresentano un'informazione che è complementare e di natura qualitativamente diversa, mentre con il modello combinato si otterrebbe una rappresentazione semantica più completa e realistica. Questi risultati suggeriscono che per poter cogliere in maniera esaustiva l'informazione semantica legata alle parole entrambi i tipi di informazione (esperienziale e distribuita) devono essere considerate. In Figura 1.2.3 si possono vedere le differenze nelle relazioni semantiche per i diversi modelli.



a)



b)



c)

Figura 1.2.2 Rappresentazione del vicinato della parola KILL secondo i modelli esperienziale (a), linguistico (b) e combinato (c). Vigliocco et al., 2009.

Il lavoro di questi autori rende chiaro, quindi, che esperienza e linguaggio forniscano informazioni qualitativamente diverse e che per ottenere una miglior approssimazione degli effetti semantici in compiti comportamentali sia necessaria una combinazione delle due. In quest'ottica, la rappresentazione semantica risulta una combinazione dei diversi tipi di informazioni. In questo modo, combinando i dati linguistici con quelli esperienziali, le informazioni ricavate da dati linguistici non risultano disincarnati, ma vengono ancorati al mondo, aspetto dei modelli distribuzionali che era stato in primis criticato da Paivio (1986).

CAPITOLO 2: CONTROLLO SEMANTICO

2.1 Teoria del controllo semantico

Nel capitolo precedente abbiamo visto come la nostra conoscenza del mondo è organizzata nel magazzino di memoria a lungo termine, chiamato rappresentazione semantica. Ora, in linea con la teoria della cognizione semantica controllata (CSC; Lambon Ralph et al., 2017), spostiamo l'attenzione alla sua seconda componente, il controllo semantico. Secondo gli autori questo sistema manipola l'attivazione del sistema rappresentazionale per generare risposte inerenti al contesto o al compito. Come vedremo nel corso del capitolo, il sistema di controllo usufruisce di una rete neurale distribuita che comprende anche la memoria di lavoro e le funzioni esecutive (Whitney et al., 2011). In particolare, secondo Lambon Ralph e collaboratori (2017), l'attivazione di questo sistema di controllo dipende dal tipo di contesto o compito. In una situazione in cui è richiesto il recupero di un'informazione dominante e fortemente attiva di base (come, per esempio, parole con un'alta frequenza d'uso nella vita quotidiana) che è anche rilevante per il contesto corrente, l'informazione all'interno della rappresentazione semantica sarà attivata abbastanza automaticamente e richiederà un intervento minimo dei processi di controllo. Se, invece, si dovranno recuperare informazioni non profondamente codificate (o debolmente attivate nella rappresentazione semantica), sarà necessario un coinvolgimento maggiore del sistema di controllo per poter produrre la risposta corretta rilevante per il contesto. A tal proposito, la teoria CSC distingue due processi distinti di controllo semantico (Badre et al., 2005; Hoffman, 2018; Montefinese, Hallam, Thompson, et al., 2020): 1) la selezione semantica e 2) il recupero controllato. Il primo processo comporta l'inibizione di informazioni predominanti ma irrilevanti per il compito

e la gestione della competizione tra diversi aspetti della rappresentazione semantica. Ciò viene sfruttato, per esempio, in compiti di selezione in cui i concetti distrattori sono fortemente legati semanticamente al concetto cue. Il recupero controllato, invece, comporta l'identificazione e il recupero, dal magazzino della rappresentazione semantica, di informazioni deboli ma rilevanti per il compito (senza quindi la presenza di informazione interferente da inibire). Ad esempio, nelle attività di recupero controllato, i partecipanti devono scegliere un concetto target che è debolmente legato semanticamente al concetto cue. Entrambe queste condizioni richiedono un grande contributo dei processi di controllo per un corretto recupero delle informazioni semantiche dalla rappresentazione (Montefinese et al., 2020).

2.1.1 Basi neurali del controllo semantico

Lo studio delle basi neurali del controllo semantico ci ha permesso di capire che è un sistema distribuito in diverse aree cerebrali. Studi di neuroimmagine su soggetti sani e pazienti (Badre et al., 2005; Thompson-Schill et al., 1998), hanno evidenziato l'importanza del giro frontale inferiore sinistro per un corretto uso del controllo semantico, ma hanno anche mostrato che un controllo semantico alterato può essere associato a lesioni temporo-parietali sinistre, supportando l'ipotesi della rete neurale distribuita. Inoltre, per quanto riguarda il giro frontale inferiore sinistro, si è visto che la sua attivazione cerebrale aumenta quando ai partecipanti viene richiesto di recuperare aspetti non dominanti della conoscenza, ossia nel recupero controllato (Bedny et al. 2008; Zemleni et al. 2007). In particolare, questi studi hanno mostrato che in condizioni con maggiori richieste di controllo semantico c'è una co-attivazione di aree cerebrali associate

all'immagazzinamento della conoscenza semantica, tra cui il giro temporale medio posteriore (vedi Figura 2.1.1).

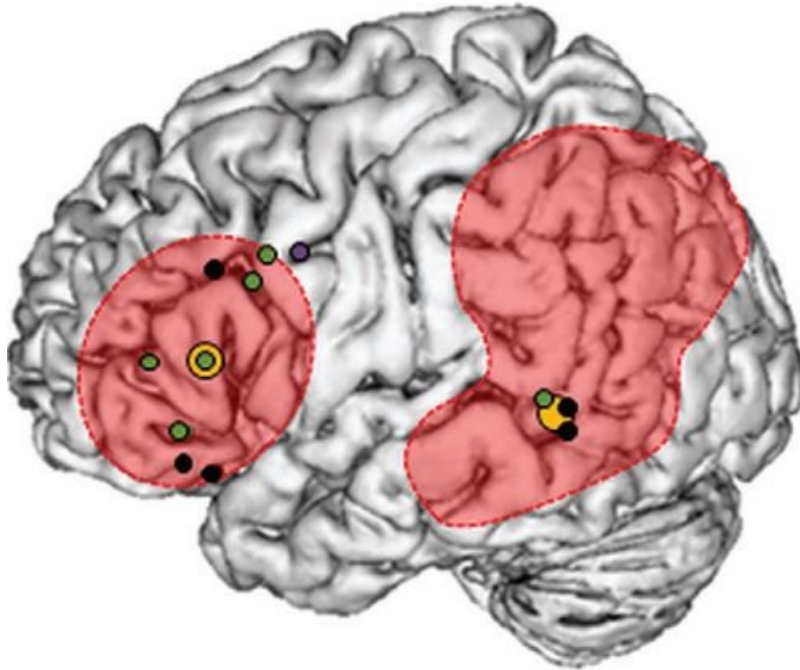


Figura 2.1.1 Siti di stimolazione TMS (in arancione), aree lese in pazienti con disregolazione del controllo semantico (in rosso), e aree attivate durante compiti ad alto carico di controllo semantico negli studi di Wagner et al., 2001 (in nero), Badre et al., 2005 (in verde), e Thompson-Schill et al., 1997 (in viola). Tratto da Whitney et al., 2011.

Questa concomitante attivazione potrebbe indicare che il giro temporale medio posteriore può essere integrato in un sistema di controllo semantico che comprende, per l'appunto, strutture cerebrali sia frontali che temporali. Nel loro studio, Whitney e collaboratori (2011) si sono avvalsi di tecniche di stimolazione magnetica transcranica ripetitiva (rTMS), per simulare in partecipanti sani la prestazione dei pazienti che hanno deficit specifici di controllo semantico a causa di lesioni nel giro frontale inferiore sinistro e giro temporale medio posteriore, in compiti di decisione semantica. Come possiamo vedere in Figura 2.1.2, i risultati di questa ricerca mostrano che l'inibizione del giro frontale inferiore sinistro e del giro temporale posteriore medio ha portato a una peggiore prestazione dei partecipanti nelle condizioni in cui le decisioni semantiche erano più

impegnative dal punto di vista del controllo semantico (cioè quelle basate su associazioni deboli tra concetto cue e target), mentre non vi è stato alcun effetto interferente della rTMS nelle decisioni semantiche di concetti fortemente associati. Questi risultati indicano che entrambe queste aree, quindi, svolgono un ruolo cruciale nel controllo semantico. Si è anche visto che la rTMS su queste aree non ha inficiato la prestazione dei partecipanti in un compito Navon, compito di controllo esecutivo ma non semantico, che aveva un alto carico cognitivo dal punto di vista del controllo cognitivo esecutivo generale. Infine, la stimolazione su un sito di controllo non semantico (il vertice) non ha prodotto variazioni nel comportamento in nessuno dei compiti. Insieme, questi risultati, mostrano che queste aree sono coinvolte nello specifico nei processi di controllo semantico (e non esecutivo generale) e che gli effetti della rTMS sulle due aree studiate non possono essere interpretati come effetti specifici della stimolazione.

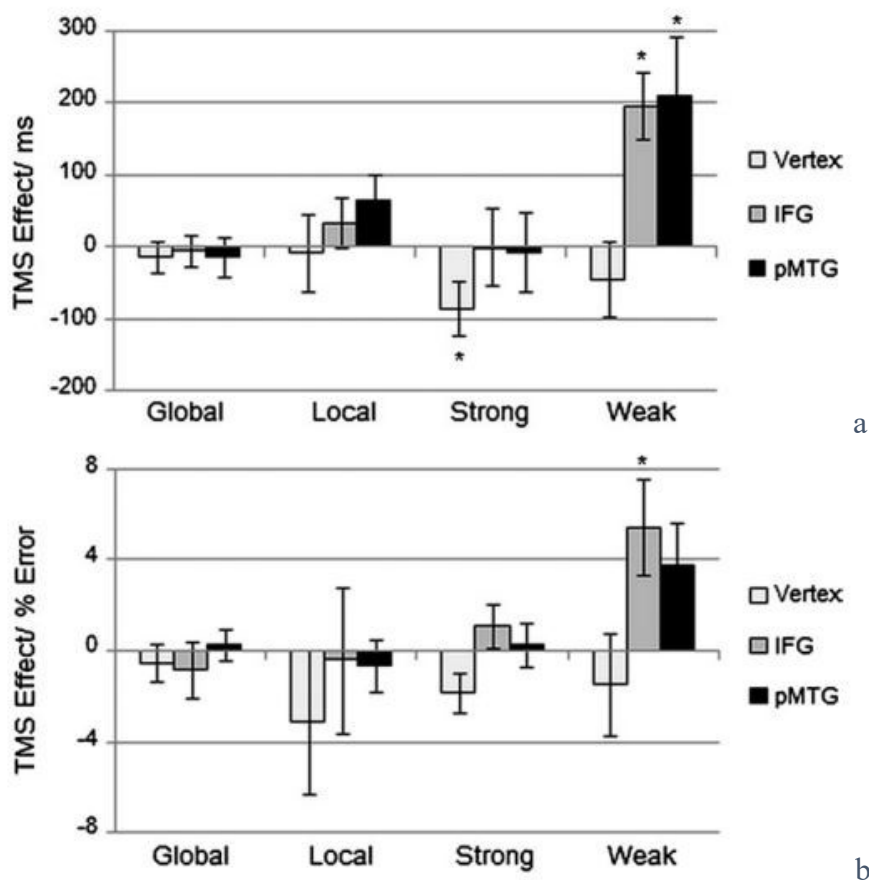


Figura 2.1.2 Differenze tra stimolazione rTMS e baseline (performance senza rTMS) in termini di tempi di reazione (a) e percentuale di errori (b). Valori positivi indicano un declino dopo la stimolazione mentre negativi un miglioramento. Global = Navon globale; Local = Navon locale; Strong = associazione cue-target forte; Weak = associazione cue-target debole. Tratto da Whitney et al., 2011.

Lo studio di Whitney e collaboratori (2011) risulta in linea con i dati ottenuti dagli studi su pazienti con afasia semantica, in quanto i partecipanti sani nelle condizioni di rTMS sulle regioni cerebrali prefrontali e temporo-parietali hanno avuto una performance simile a quella dei pazienti con lesioni prefrontali e temporo-parietali in compiti semantici (Jefferies et al., 2006; Corbett et al., 2009). Questi risultati sono in accordo anche con i recenti studi di risonanza magnetica funzionale che riportano l'attivazione del giro temporale medio posteriore insieme al giro frontale inferiore sinistro durante situazioni con elevate richieste di controllo semantico (ad esempio Badre et al. 2005; Zempleni et al. 2007; Bedny et al. 2008). Questi studi hanno osservato che l'attivazione di tali aree è

accompagnata da un aumento delle risposte neurali nella corteccia prefrontale dorso e ventro-laterale, nella corteccia cingolata anteriore, nel giro angolare e/o nella corteccia parietale superiore (Thompson et al., 1997; Badre et al., 2005; Bedny et al., 2008). Mentre tutte le strutture cerebrali all'interno di questa rete sono componenti legate al controllo esecutivo (dominio generale), il giro temporale medio posteriore potrebbe servire scopi esecutivi solamente nei compiti semantici. Rimane comunque possibile che anche altre regioni cerebrali contribuiscano al controllo semantico. Tra le possibili aree possiamo menzionare la corteccia parietale sinistra, il giro angolare e il solco intraparietale. Queste aree cerebrali svolgono un ruolo consolidato nel “multiple demand system”, che media tutti i compiti con richieste esecutive elevate non specifiche, quindi del dominio semantico (Owen et al. 2000; Duncan 2010).

2.1.2 Demenza e afasia semantica

La maggior parte degli studi sulla cognizione semantica e le sue componenti derivano dagli studi di neuropsicologia clinica che si basano sullo studio di deficit semantici specifici legati a danni cerebrali, nello specifico su pazienti con demenza o afasia semantica.

Innanzitutto, con demenza semantica si definisce una variante della demenza frontotemporale correlata ad atrofia dei lobi temporali anteriori: questi pazienti mostrano un deficit semantico progressivo che colpisce selettivamente la conoscenza semantica specifica prima di quella generale. La degenerazione dei lobi temporali in questi pazienti mostra un pattern asimmetrico, in cui l'area ventro-rostrale, prevalentemente di sinistra, è maggiormente compromessa (Hodges et al., 2010). Altra area cerebrale interessata

sarebbe il giro fusiforme rostrale bilaterale. Chen e collaboratori (2020) hanno individuato quest'area come il centro del controllo semantico perché la sua forza di connettività strutturale predice in modo significativo la prestazione dei pazienti nell'elaborazione semantica generale. Inoltre, Mion e collaboratori (2010) hanno trovato anche prove di specializzazione emisferica in base al materiale della prova (materiale espressivo e verbale attivano il giro fusiforme rostrale sinistro; prove non verbali e associative sono legate al giro fusiforme rostrale destro). Acosta-Cabronero e collaboratori (2011), invece, hanno voluto studiare come la degenerazione della materia grigia si rispecchi a livello dei tratti di materia bianca e la diffusione radiale di tali anomalie. Sono state identificate tre vie di materia bianca che potrebbero essere interessate da questa degenerazione: i fascicoli uncinato e arcuato e la via che attraversa le regioni occipito-temporali tramite il fascicolo longitudinale inferiore (mentre il fascicolo longitudinale fronto-parietale superiore e il ginocchio del corpo calloso sarebbero relativamente risparmiati). Come si può vedere in Figura 2.1.3, queste vie hanno mostrato dei tratti che si estendono al di là del lobo temporale, rostralmente e dorsalmente (attraverso uncinato e arcuato), ma non caudalmente attraverso il fascicolo longitudinale inferiore; questo indica che proiezioni prevalentemente efferenti dal lobo temporale danneggiato (arcuato e uncinato) si deteriorano, mentre le proiezioni afferenti verso la regione danneggiata (fascicolo longitudinale inferiore) sono relativamente preservate.

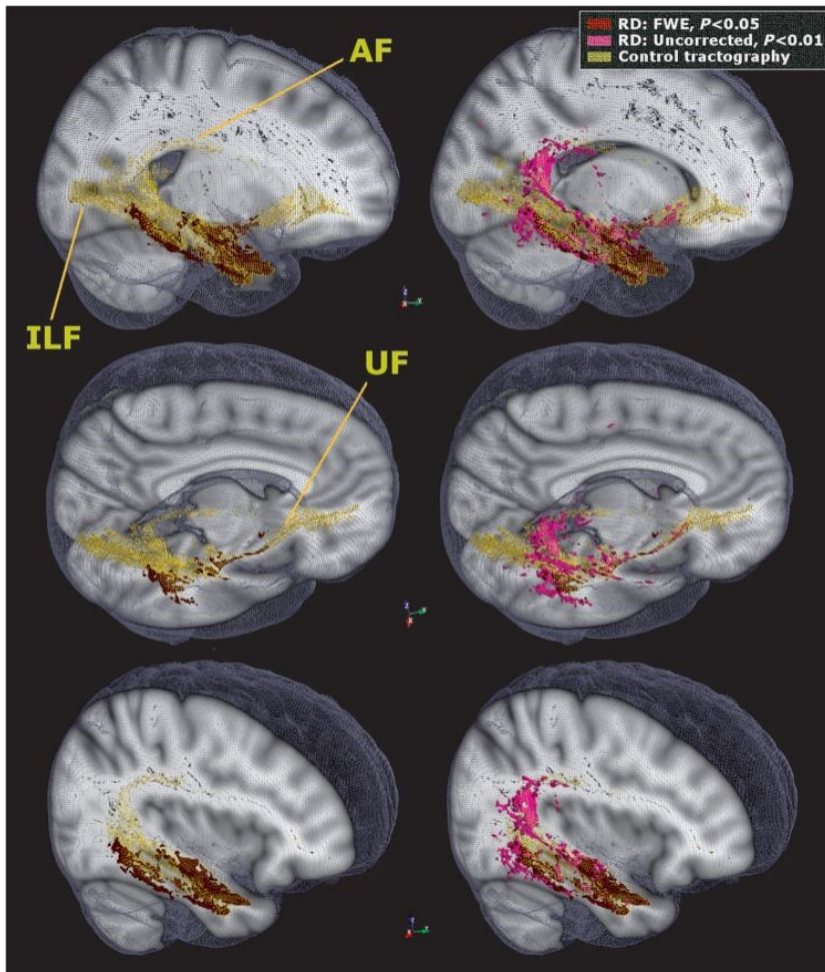


Figura 2.1.3 Le anomalie dei tratti della sostanza bianca in pazienti con demenza semantica evidenziano il coinvolgimento dei fasci arcuati e uncinati e il risparmio di tratti che corrono caudalmente dal lobo temporale attraverso il fascicolo longitudinale inferiore. AF = fascicolo arcuato; FWE = errore familiare; ILF = fascicolo longitudinale inferiore; RD = diffusività radiale; UF = fascicolo uncinato. Tratto da Acosta-Cabronero et al., 2011.

Per quanto riguarda l'afasia semantica, essa produce una compromissione a livello del controllo semantico, mostrando deficit semantici multimodali a seguito di ictus dell'emisfero sinistro. Montefinese e collaboratori (2020) hanno mostrato come i pazienti con afasia semantica hanno una maggiore compromissione in compiti che riguardano caratteristiche a bassa rilevanza, suggerendo che la selezione delle caratteristiche target di questa tipologia richiede un maggiore controllo semantico rispetto alle caratteristiche target con alta rilevanza. Questa risulta essere un'ulteriore prova della necessità per il

funzionamento della cognizione semantica della presenza non solo di un sistema rappresentazionale, ma anche di un sistema di controllo per la selezione di aspetti della conoscenza concettuale che normalmente sono attivati solo debolmente all'interno dell'archiviazione semantica, ma che sono rilevanti per il compito dato.

A livello comportamentale, Mirman e Britt (2012) hanno studiato pazienti con demenza semantica per poter individuare e distinguere i deficit a livello del magazzino mnemonico legati a questo disturbo e quelli a livello dell'accesso, cioè i deficit di controllo semantico, rilevati nei pazienti con afasia semantica. Nei primi le rappresentazioni semantiche stesse sono danneggiate, mentre nei secondi le rappresentazioni sono intatte ma l'accesso ad esse è compromesso. I fenomeni comportamentali trattati dagli autori sono: la sensibilità al segnale, la sensibilità al tasso di presentazione, l'incoerenza delle prestazioni, gli effetti negativi sulla posizione seriale, la sensibilità al numero e alla forza dei concorrenti e la riduzione degli effetti sulla frequenza delle parole.

Per quanto riguarda il fenomeno di sensibilità al segnale, in compiti di denominazione di figura, se i pazienti non riescono a rispondere correttamente gli viene fornito un suggerimento (tipicamente i primi due fonemi della parola target). I pazienti con deficit di accesso (afasia semantica da ictus) mostrano una forte facilitazione da questi segnali di suggerimento, mentre i pazienti con deficit di memoria (demenza semantica) non mostrano praticamente alcun effetto della presenza di questi (Jefferies et al., 2006; Jefferies et al., 2007).

Con sensibilità al tasso di presentazione, si intende la lunghezza dello spazio temporale tra la presentazione di due trial. I partecipanti con deficit di accesso (o controllo) si comportano molto meglio quando questo intervallo tra risposta e stimolo è lungo rispetto

a quando è breve, mentre le prestazioni dei pazienti con deficit di memoria non sono influenzate da questa manipolazione del tasso di presentazione (Forde & Humphreys, 1995; Crutch & Warrington, 2003).

Per “incoerenza delle prestazioni” ci si riferisce al fatto che quando uno stimolo viene testato più volte, gli individui con un deficit di controllo mostrano uno schema di risposte corrette ed errate molto vicino a una distribuzione binomiale scalata in base alla loro precisione complessiva, cioè la loro performance risulta come lanciare una moneta con una probabilità di risultare "corretta" uguale alla precisione complessiva di quel partecipante. Al contrario, partecipanti con demenza semantica mostrano elevata consistenza per gli stimoli (Campanella et al., 2012; Crutch & Warrington, 2003).

Con “effetti negativi sulla posizione seriale” ci si riferisce al fatto che gli individui con afasia semantica mostrano una prestazione peggiore all’aumentare delle presentazioni ripetute di uno stesso stimolo (Forde & Humphreys, 1995; Crutch & Warrington, 2008).

Pazienti con demenza semantica mostrano sensibilità al numero e alla forza degli stimoli distrattori, per cui hanno una prestazione migliore quando i distrattori sono pochi e non sono legati al target rispetto a quando lo sono (Crutch & Warrington, 2003; Freedman et al., 2004).

Nei pazienti con deficit di controllo invece, è stata trovata una riduzione degli effetti di frequenza delle parole anche se i risultati in letteratura sono contrastanti. Infatti, alcuni studi di gruppo e di casi singoli di pazienti con deficit di accesso semantico mostrano che i pazienti con afasia semantica tendono a non mostrare effetti della frequenza delle parole in un'ampia varietà di compiti (Jefferies & Lambon Ralph, 2006; Jefferies et al., 2007). Tuttavia, un esame più attento dei pazienti testati negli studi di Jefferies e collaboratori

(2006; 2007) indica che questi mostrano gli stessi effetti della frequenza delle parole dei pazienti con demenza semantica, sebbene siano meno sensibili alla tipicità/regolarità dei concetti (Jefferies et al., 2010). È possibile che questi risultati incoerenti siano in realtà frutto di effetti di frequenza mascherati dalla presenza di altri fattori (Hoffman et al., 2011) che influenzano più fortemente le prestazioni nei deficit di accesso.

Gli studi su pazienti, sia con afasia che con demenza semantica, risultano quindi fondamentali per comprendere al meglio il funzionamento della cognizione semantica e delle sue componenti a livello strutturale, ma sono anche utili per fornire ulteriori prove per le teorie proposte.

2.1.3 Teorie sui deficit di controllo semantico

Diversi autori hanno proposto varie prospettive per spiegare la presenza degli effetti individuati da Mirman e Britt (2012) illustrati nel paragrafo precedente. Warrington e McCarthy (1983) hanno proposto il primo resoconto dei fenomeni di deficit di accesso, che era basato su una refrattarietà anormale: un ritardo nel ritorno del sistema lessicale-semantico a uno stato "pronto". Gli autori individuano cioè che dopo l'attivazione si presenta un periodo refrattario eccessivamente lungo in cui non è possibile attivare la rappresentazione (vedi Figura 2.1.4).

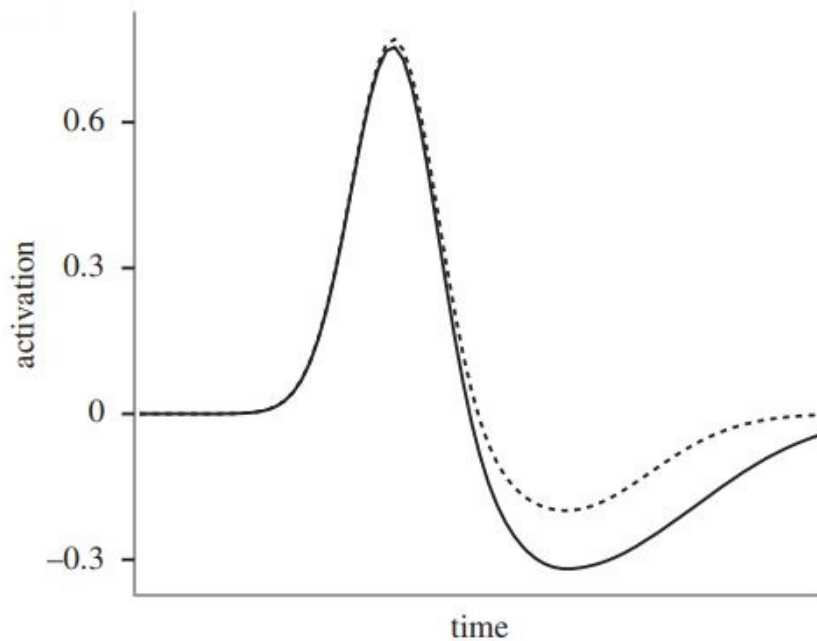


Figura 2.1.4 Curva che rappresenta il fenomeno di refrattarietà anormale: dopo l'attivazione della rappresentazione, si verifica una soppressione refrattaria anormalmente ampia e/o più duratura, rappresentata dalla linea continua; mentre la linea tratteggiata indica un percorso normale. Tratto da Mirman et al., 2012.

Questa teorizzazione è perfettamente collegabile alla sensibilità alla velocità di presentazione, perché un intervallo tra risposta e stimolo più lungo offre al sistema più tempo per tornare allo stato pronto. Successivamente, Gotts e Plaut (2002) hanno implementato la nozione di refrattarietà anormale in un modello computazionale e hanno mostrato come questo approccio potrebbe spiegare altri fenomeni chiave. Questo modello ha spiegato due fenomeni principali: 1) la ridotta sensibilità all'input, cioè una pendenza minore per la relazione non lineare tra l'input e la sua attivazione (questa relazione è anche chiamata "guadagno di input"); e 2) l'aumento della depressione sinaptica, cioè l'effetto diminuito su un'unità postsinaptica quando un'unità presinaptica individuale si attiva ripetutamente. Questo modello spiegherebbe quindi: gli effetti sulla velocità di presentazione perché gli effetti della depressione sinaptica svaniscono nel tempo; gli effetti della relazione semantica (prestazioni più scarse nei blocchi di prove

semanticamente correlati rispetto a quelli misti) perché l'elaborazione di stimoli semanticamente correlati coinvolge alcune delle stesse unità e connessioni che erano state colpite dalla depressione sinaptica; gli effetti negativi sulla posizione seriale perché la depressione sinaptica si accumula su presentazioni ripetute; la ridotta sensibilità alla frequenza delle parole perché le parole con frequenza più alta hanno attivazioni più elevate e la depressione sinaptica si accumula più rapidamente per le unità più attive; la mancanza di coerenza della performance a causa di peculiarità dell'ordine degli stimoli. Per quanto riguarda gli effetti negativi sulla posizione seriale, l'accumulo di depressione sinaptica su presentazioni ripetute di uno stimolo rende meno probabile che la rappresentazione dello stimolo venga riattivata. Tuttavia, altri autori ipotizzano che questi effetti siano dovuti ad un accumulo eccessivo di attivazione. Anziché essere inibite (o depresse sinapticamente), le rappresentazioni rimangono attive troppo a lungo e questa attivazione residua compete con i nuovi input, impedendo loro di diventare attive (vedi Figura 2.1.5). Se gli stimoli sono semanticamente legati, il nuovo input fornirebbe anche un'attivazione parziale alle rappresentazioni residue attive delle prove precedenti, aggravando così l'eccessiva attivazione residua (Schnur et al., 2006; Hsiao et al., 2009).

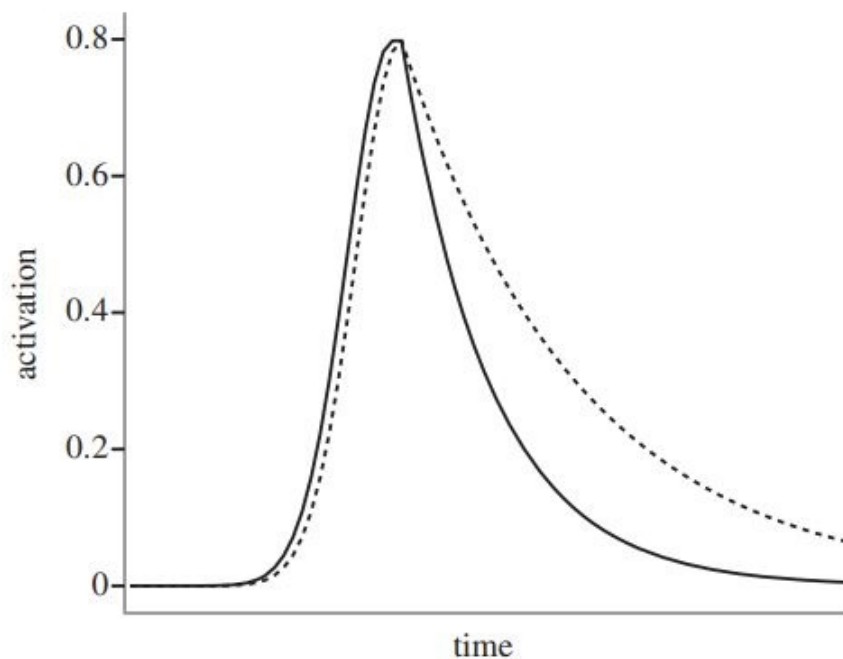


Figura 2.1.5 Curva che rappresenta il fenomeno di accumulo eccessivo di attivazione: dopo l'attivazione, si verifica un decadimento anormalmente lento dell'attivazione, rappresentato dalla linea tratteggiata, mentre quella continua rappresenta un andamento normale. Tratto da Mirman et al., 2012.

Una posizione teorica alternativa è quella di Rapp e Caramazza (1993) che ha messo in discussione la stessa distinzione tra magazzino di memoria e accesso. Gli autori hanno messo in dubbio questa distinzione perché i pazienti con presunto deficit di accesso di solito non mostrano in modo coerente tutte le caratteristiche che definiscono i deficit di controllo o le esibiscono in una modalità ma non in altre. Inoltre, almeno alcuni dei fenomeni legati ai deficit di accesso possono manifestarsi senza ricorrere ai meccanismi di controllo. Ad esempio, per quanto riguarda l'interferenza semantica cumulativa legata all'apprendimento incrementale (Oppenheim et al., 2010), il semplice aumento del rumore nel sistema semantico è sufficiente affinché l'apprendimento incrementale produca i modelli osservati di errori di denominazione delle immagini dei pazienti afasici, nella denominazione ciclica bloccata. Ad oggi, la teoria più accreditata è quella della cognizione semantica controllata di Lambon Ralph e collaboratori (2017), per cui i deficit

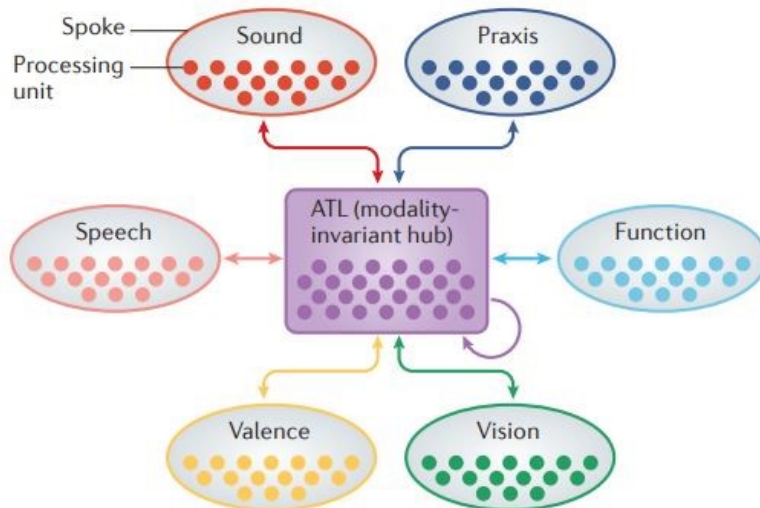
di accesso riflettono danni ai processi di controllo semantico. Tali deficit vanno oltre la sola selezione della risposta, perché, come abbiamo visto nel paragrafo precedente, il giro frontale inferiore sinistro (area legata al controllo semantico) e le aree cerebrali limitrofe sono importanti anche per le funzioni di controllo in compiti che non sono di selezione, come il recupero semantico, il controllo inibitorio e il comportamento sequenziale complesso. Tuttavia, questa teoria rimane piuttosto vaga perché ancora non è stata implementata a livello computazionale. In assenza di questa implementazione, è difficile valutare fino a che punto questa teoria possa spiegare i fenomeni del deficit di accesso alla rappresentazione semantica e come si discosti dalle altre prospettive teoriche.

2.2 La cognizione semantica controllata

Dopo aver parlato separatamente di rappresentazione e controllo semantico (e dei diversi modelli proposti, rispettivamente per l'una e l'altra componente della cognizione semantica), possiamo addentrarci nella teoria che unisce questi due meccanismi: la teoria della cognizione semantica controllata proposta da Lambon Ralph e collaboratori (2017), già citata nei paragrafi precedenti. Come accennato nell'introduzione a questa tesi, gli autori fondano questo impianto teorico sulla teoria "hub and spoke" descritta da Patterson e collaboratori (2007), i quali spiegano come le conoscenze concettuali nascono dall'apprendimento della struttura delle esperienze multimodali. Questa teorizzazione si basa su due concetti. In primo luogo, il modello hub-and-spoke assume che le esperienze verbali e non verbali multimodali sono alla base della costruzione di concetti e che queste fonti di informazioni sono codificate in cortecce modalità-specifiche distribuite nella corteccia cerebrale in linea con la visione incarnata della cognizione (Patterson et al.,

2007). In secondo luogo, propone che le interazioni cross-modali per tutte le fonti di informazione modalità-specifiche sono mediate, almeno in parte, da un unico centro transmodale che è situato bilateralmente nei lobi temporali anteriori (idea in controtendenza rispetto alle teorie distribuzionali della rappresentazione semantica). L'insieme di queste teorizzazioni sono rappresentate schematicamente in Figura 2.2.1a. L'importanza dei lobi temporali anteriori nella rappresentazione semantica è stata mostrata soprattutto grazie agli studi che abbiamo precedentemente analizzato su soggetti con demenza semantica, in quanto mostrano difficoltà semantiche in tutte le modalità e per tutti i tipi di concetti (Acosta-Cabronero et al., 2011; Chen et al., 2020).

a Computational framework



b Neuroanatomical sketch

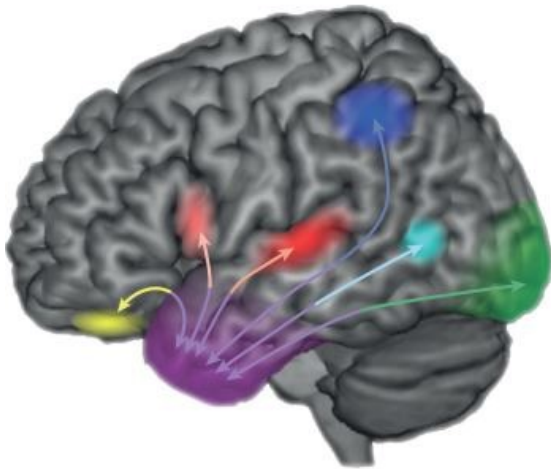


Figura 2.2.1a Rappresentazione del modello hub and spoke di Petersen e collaboratori (2007); **b** Rappresentazione delle basi neuroanatomiche della cognizione semantica. Tratto da Lambon Ralph et al., 2017.

Diversi studi (Lambon Ralph et al., 2010; Binney et al., 2010) hanno mostrato che l'area ventrale/ventro-laterale dei lobi temporali anteriori sarebbe il punto focale di questo centro. Tuttavia è stato visto come la sua funzione vari in modo graduale nelle altre sotto-regioni dei lobi temporali anteriori. In particolare, la corteccia temporo-polare mostra maggior connettività funzionale con aree orbito-frontali, l'area infero-laterale dei lobi temporali anteriori con le regioni frontali e posteriori coinvolte nel processamento semantico controllato, le aree superiori principalmente con le regioni uditive primarie e premotorie. L'area ventro-mediale, quindi, si attiva fortemente in compiti semantici a prescindere dalla modalità o categoria dello stimolo. Ma via via che ci si allontana da quest'area, la funzione semantica cross-modale si affievolisce e diventa sempre più modalità-specifica. In particolare, mentre le aree mediali sarebbero legate al processamento di immagini e concetti concreti, il solco temporale superiore anteriormente e il giro temporale superiore sarebbero legati ai concetti astratti e stimoli uditivi e le aree polari e dorsali a concetti sociali (Hoffman et al., 2015). Altre aree di

interesse nell'ambito della cognizione semantica sono quelle prefrontali. Diversi studi di neuroimmagine (Badre et al., 2005; Thompson-Schill et al., 1997; Wagner et al., 2001) dimostrano che, nonostante queste aree non siano legate alla rappresentazione semantica di per sé, hanno un ruolo cruciale nell'accedere, rievocare e manipolare esecutivamente le conoscenze semantiche. Oltre alla corteccia prefrontale laterale, in Figura 2.2.2 possiamo vedere altre aree in cui la risposta correla con una richiesta di controllo semantico: giro temporale medio posteriore, solco intraparietale, area motoria pre-supplementare, corteccia cingolata anteriore e corteccia prefrontale ventromediale (Humphreys & Lambon Ralph, 2015; Noonan et al., 2013). In particolare il giro temporale medio posteriore e il solco intraparietale avrebbero un ruolo cruciale nel completamento di compiti semantici ad elevate richieste di controllo.



Figura 2.2.2 Regioni identificate come reattive per il controllo semantico in Noonan et al., 2013. Tratto da Jackson, 2021.

Inoltre, mentre la corteccia prefrontale ventrale e il giro temporale medio posteriore hanno una maggiore attivazione quando devono essere recuperate associazioni semantiche deboli, la corteccia prefrontale dorsolaterale e il solco intraparietale sono legate al recupero di associazioni con un carico cognitivo elevato di selezione semantica (Badre et al., 2005; Davey et al., 2016; Nagel et al., 2008). Questo suggerisce che anche a livello del controllo semantico le aree cerebrali hanno un'organizzazione graduata e distribuita nel cervello, nella quale le regioni inferiori, poiché connesse alle aree della rappresentazione semantica, favoriscono il recupero di informazioni debolmente

codificate e le regioni superiori servono invece per un controllo più dominio-generale (Duncan, 2010).

2.3 Sovrapposizione tra processi di controllo semantico ed esecutivi

Perché è così importante il ruolo della componente esecutiva per la cognizione semantica? Lambon Ralph e collaboratori (2017) individuano tre ragioni per cui è fondamentale studiare le funzioni esecutive nel contesto della cognizione semantica. In primo luogo, sono molti i casi in cui la conoscenza semantica può essere difficile da impiegare (per esempio, nel caso di rappresentazioni deboli e impoverite o con significati ambigui, o se c'è incoerenza tra concetti e contesti) e in cui si può beneficiare di diversi tipi di supporto esecutivo. In secondo luogo, la rappresentazione e il controllo semantico, come abbiamo potuto vedere, sono altamente interattivi. In terzo luogo, la natura di questa interazione cambia se una o più delle componenti della cognizione semantica è compromessa. Pertanto, una piena comprensione di questi effetti richiede un quadro che affronti sia il controllo che la rappresentazione semantica, comprendendo anche la componente esecutiva. Anche a livello anatomico, il controllo semantico è mediato non solo da aree cerebrali dell'emisfero sinistro legate al linguaggio (Lambon Ralph et al., 2010), ma anche da aree prefrontali che sono coinvolte nei processi di controllo esecutivo (Davey et al., 2016), ossia l'abilità di selezionare informazioni rilevanti per il compito e i processi per ottimizzare il comportamento finalizzato a uno scopo. L'importanza del lavoro concomitante di funzioni esecutive e controllo semantico è stata rilevata soprattutto in chi non ha un funzionamento corretto di esse, ossia in pazienti con afasia semantica. In particolare, in questi pazienti i deficit di controllo semantico in diversi compiti sia di

selezione che recupero controllato correlano con i deficit esecutivi valutati con diversi test neuropsicologici (come, per esempio le matrici di Raven o il Wisconsin Card Sorting Test). Per esempio, è stato riscontrato che le prestazioni dei pazienti con afasia semantica nei test per le funzioni esecutive correlano con compiti semantico-lessicali, come la denominazione di immagini, l'associazione parole-immagini e l'associazione immagini-immagini (Jefferies et al., 2006; Corbett et al., 2009). Tuttavia, non è pratica clinica comune testare entrambe le funzioni esecutive e di controllo semantico in pazienti con deficit semantici. Allo stesso modo, di solito, pazienti con disfunzioni a livello esecutivo non vengono testati anche per l'esistenza di un eventuale deficit di controllo semantico. Inoltre, spesso i dati ottenuti con test classici per le funzioni esecutive non riescono ad isolare la funzione in esame ma valutano anche altre capacità, producendo quindi degli indici della prestazione dei pazienti non specifici. Questo è conosciuto come il problema dell'impurità del compito. L'unico studio neuropsicologico che ha provato a trovare una dissociazione tra i due tipi di processi di controllo (esecutivo e semantico) è stato lo studio di Thompson e collaboratori (2018). Gli autori hanno confrontato la prestazione di un gruppo di pazienti con sindrome disesecutiva (cioè con disfunzioni a livello di pianificazione, ragionamento, pensiero astratto, flessibilità cognitiva e controllo comportamentale) e di un gruppo di pazienti con afasia semantica, utilizzando compiti multimodali semantici e manipolando le richieste di controllo. I pazienti con afasia semantica hanno avuto prestazioni peggiori rispetto ai pazienti con sindrome disesecutiva sia nei compiti semantici che esecutivi, ma entrambi i gruppi hanno mostrato una relazione equivalente tra questi domini. I pazienti con disfunzione esecutiva hanno comunque mostrato una disfunzione sulla batteria di compiti semantici e, allo stesso modo, i pazienti con afasia semantica presentavano deficit esecutivi correlati alle

prestazioni semantiche. In modo interessante, gli autori hanno anche osservato come entrambi i gruppi di pazienti mostrassero gli stessi effetti specifici alle manipolazioni semantiche, tra cui quello della forza del distrattore, gli effetti del concetto cue, l'effetto della distanza tra il concetto cue e il concetto target e la mancanza dell'effetto facilitante della frequenza d'uso delle parole.

I risultati di questa ricerca quindi pur avendo il merito di essere un primo tentativo nel provare a dissociare il contributo dei processi di controllo esecutivi e semantici, tuttavia non sono stati in grado di mostrare la presenza di un'effettiva dissociazione tra questi processi. In sintesi, gli studi trattati in questo paragrafo ci suggeriscono, quindi, che il controllo semantico non è indipendente da quello esecutivo, e non è chiaro nemmeno quanto questi due processi si sovrappongano nel recupero dell'informazione semantica. Lo studio sperimentale di cui mi sono occupata per la mia tesi e che verrà trattato nel prossimo capitolo, cerca di colmare parzialmente queste lacune testando la relazione tra la prestazione comportamentale di partecipanti sani in un compito di controllo semantico ed uno esecutivo (un compito di go/no-go).

CAPITOLO 3: LA RICERCA

3.1 Scopo della ricerca

Quotidianamente ci si presentano situazioni in cui è necessario comprendere il significato contestuale di qualcosa e sapersi relazionare di conseguenza con tale cosa. Questo succede, per esempio, quando ci troviamo di fronte ad un GIORNALE. In primis l'informazione che ci viene in mente è che viene usato per leggere. Tuttavia, nel caso in cui fosse una giornata calda, questa informazione, seppur dominante, non serve al nostro scopo di trovare refrigerio. In questa situazione, è necessario quindi attivare un'informazione che di solito è debolmente attivata quando si pensa al GIORNALE, che è rilevante in questa situazione: ossia, che il GIORNALE può essere usato come ventaglio per sventolarsi. In questo esempio sono coinvolte due capacità principali che costituiscono la cognizione semantica controllata, ossia la cosiddetta rappresentazione semantica che consiste nel magazzino dei significati di tutte le parole che conosciamo e il controllo semantico, che serve a direzionare e controllare l'attivazione delle informazioni nella rappresentazione semantica in base al contesto e al compito (Lambon Ralph et al., 2017). Tornando al nostro esempio, quindi, l'attivazione dell'informazione "da usare per sventolarsi" per GIORNALE, richiederebbe maggior controllo semantico in quanto questa informazione non è dominante nella rappresentazione semantica del concetto GIORNALE (Vigliocco et al., 2009; Thompson et al., 2018; Montefinese et al., 2020; Lambon Ralph et al., 2017).

Protagonista di questo studio sarà proprio il controllo semantico. L'interesse per questa componente deriva dal fatto che diversi studi mostrano come questo si avvalga del supporto di una componente esecutiva (Withney et al., 2011; Davey et al., 2016; Chiou

et al., 2018; Owen, 2000; Thompson et al., 2018). Tuttavia, rimane ancora da comprendere a pieno il grado di relazione tra queste componenti semantiche ed esecutive nel controllo dell'informazione semantica e, se il loro contributo sia distinguibile. Infatti diversi studi hanno mostrato che in compiti semantici ad elevata richiesta di controllo vengono attivate contemporaneamente sia aree propriamente associate alla cognizione semantica, come il giro temporale medio posteriore, sia aree frontali e prefrontali classicamente associate al controllo esecutivo dominio generale (Badre et al., 2005; Bedney et al., 2008; Zempleni et al., 2007; Davey et al., 2010). Questa associazione tra controllo semantico ed esecutivo è stata osservata anche in pazienti affetti da afasia semantica (un disturbo che compromette, appunto, il controllo semantico). Jefferies e collaboratori (2006) e Corbett e collaboratori (2009) hanno riscontrato che le prestazioni di questi pazienti in compiti per le funzioni esecutive correlano con quelle in compiti semantico-lessicali. Tuttavia, questa tipologia di studi comparativi tra controllo semantico e funzioni esecutive non è molto comune. Inoltre, quando vengono confrontate le due funzioni nei pazienti vengono usati dei test per le funzioni esecutive in cui non è possibile isolare una specifica funzione, producendo quindi risultati non chiari sul coinvolgimento specifico di una funzione.

Lo studio sperimentale preso in esame rientra nel filone degli studi appena descritti che si interrogano sulla natura di controllo esecutivo e semantico in soggetti sani, cercando di chiarire meglio l'interazione tra le due funzioni nel recupero dell'informazione. A questo scopo partecipanti sani hanno eseguito due compiti go/no-go, uno che richiede controllo semantico e l'altro che richiede controllo esecutivo. Ci aspettiamo di trovare una correlazione tra le due tipologie di compiti per quanto riguarda i tempi di reazione e l'accuratezza nelle risposte dei partecipanti. Inoltre, per manipolare il controllo semantico

abbiamo aggiunto una manipolazione nel compito semantico: ossia, abbiamo variato linearmente la distanza semantica tra il concetto-stimolo “no-go” e quello che lo precedeva per verificare se questo fattore possa avere o meno un effetto facilitante o interferente aumentando le richieste di controllo.

3.2 Materiali e metodi

3.2.1 Partecipanti

Alla ricerca hanno partecipato 252 persone madrelingua italiane (174 femmine, 78 maschi, età media: 24.24, $DS = 7.11$, range: 18-58 anni). I partecipanti sono stati reclutati a lezione, via social network, e-mail o identificati via contatti personali dei ricercatori. Tutti i partecipanti hanno dichiarato di essere in buone condizioni psicofisiche al momento del test. Inoltre, sebbene non siano state verificate direttamente le competenze informatiche, non sono state riportate particolari difficoltà dai partecipanti nello svolgimento dei compiti online. I partecipanti sono stati precedentemente informati dello scopo dello studio e hanno fornito il loro consenso online prima della loro partecipazione. Lo studio era stato approvato dal Comitato Etico per la Ricerca in Psicologia dell'Università di Padova in accordo con gli standard etici stabiliti dalla Dichiarazione di Helsinki.

3.2.2 Materiali

Come precedentemente menzionato, i compiti utilizzati riguardano due versioni di go/no-go, una esecutiva e una semantica. In entrambi i compiti esecutivi e semantici abbiamo

utilizzato il 20% degli stimoli come no-go, in accordo con i risultati ottenuti da Wessel (2018), che ha notato come nei compiti di go/no-go l'attività motoria prepotente, e quindi la componente di inibizione, è evocata solo con tempi di presentazione brevi, e con pochi item no-go. In totale quindi avevamo 180 trial sperimentali di cui 36 erano no-go. Nel go/no-go esecutivo gli stimoli erano dei cerchi colorati blu (go) e rosso (no-go). Nel compito semantico invece, gli stimoli erano immagini che rappresentavano concetti di diverse categorie, come frutta, fiori, cibo, vestiti, veicoli e così via. In questo compito i trial go erano tutti i concetti al di fuori di quelli che appartenevano alla categoria animali e i trial no-go erano i concetti animali. In questo compito, inoltre, per aumentare e manipolare in modo fine le richieste di controllo semantico, prima del trial no-go veniva presentata un'immagine di un concetto che poteva essere legato al concetto animale secondo un grado di relazione semantica variabile, a cui ci si riferirà come "prime". Per esempio, l'immagine di una MUCCA (stimolo no-go) poteva essere preceduta dall'immagine di un bicchiere di LATTE (stimolo go) (vedi Figura 3.2).

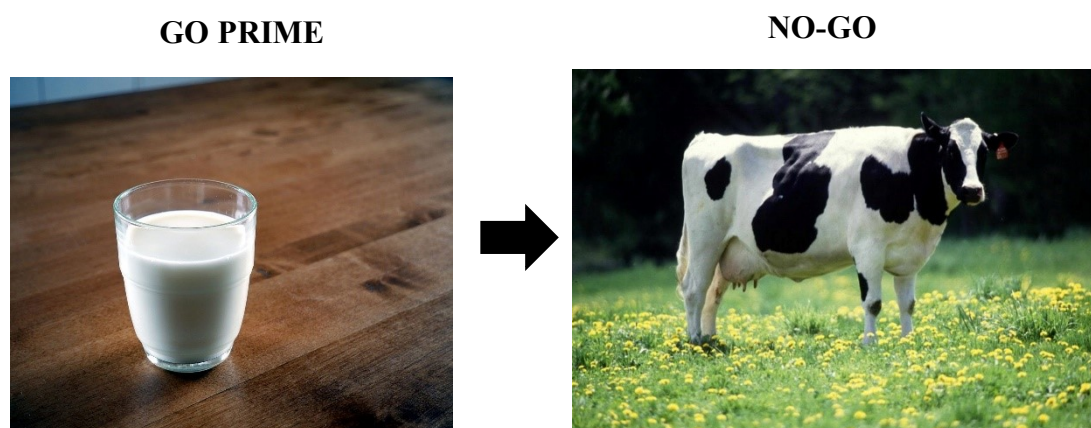


Figura 3.2 Esempio dell'ordine di presentazione nel compito semantico di due trial. La prima figura (LATTE) rappresenta uno stimolo go e, a livello semantico è fortemente associata con la figura successiva (MUCCA), che costituisce lo stimolo no-go.

In linea con i modelli distribuzionali della rappresentazione semantica, la misura di distanza semantica era calcolata come co-occorrenza di due concetti in un corpus online di parole italiane (itWaC, Baroni & Kilgarriff, 2006) (Marelli, 2017). La distanza semantica media tra stimolo go (pre no-go) e stimolo no-go era 0.88 ($DS = 0.09$).

Prima dei blocchi sperimentali, i partecipanti eseguivano una fase di training costituita da 8 e 14 trial di prova per il compito esecutivo e semantico, rispettivamente. Ogni blocco sperimentale includeva un primo trial go di riscaldamento, che non è stato incluso nelle analisi.

3.2.3 Procedura

Come precedentemente accennato, i partecipanti sono stati testati online per favorire una maggiore partecipazione, con la richiesta esplicita di utilizzare un computer o altro dispositivo munito di tastiera e connessione internet. I dati sono stati raccolti usando la versione web di PsyToolkit (Stoet, 2017). Gli stimoli per entrambi i compiti erano presentati al centro dello schermo per 700 ms per il compito esecutivo e 1200 per il compito semantico. L'intervallo inter-trial durava in media 700 ms e variava tra 500 a 900 ms.

Il compito dei partecipanti era di premere il più velocemente possibile la barra spaziatrice se vedevano il cerchio di colore blu (compito esecutivo) o un'immagine di un concetto che non fosse un animale (compito semantico). Se la figura presentata era un cerchio rosso (compito esecutivo) o l'immagine di un animale (compito semantico) i partecipanti non dovevano premere la barra spaziatrice.

L'ordine di presentazione degli stimoli è stato manipolato in modo che tra gli stimoli no-go ci fossero tra 2 e 6 trial go. Questa manipolazione dell'ordine di presentazione degli stimoli è stata scelta per impedire ai partecipanti di prevedere con certezza la comparsa dei trial no-go e, al contempo, investigare l'effetto dell'aspettativa al passare dei trial go.

I tempi di reazione sono stati registrati come l'intervallo di tempo tra la comparsa dello stimolo go e la pressione della barra spaziatrice; l'accuratezza è stata calcolata come la proporzione di risposte corrette nei trial go (ossia pressione del tasto: Hit) e no-go (non pressione del tasto: Correct Rejection, CR).

3.2.4 Analisi statistica

Sono stati eliminati a priori dall'analisi tutti quei partecipanti che non hanno svolto entrambi i compiti, esecutivo e semantico, per un totale di 4 partecipanti. Innanzitutto è stata verificata la presenza di partecipanti outlier, ossia con una prestazione deviante dal resto del campione, considerando sia l'accuratezza che i tempi di risposta. Per la prima il cut off considerato è del 50%, mentre per la seconda è stato impostato a 3 deviazioni standard dalla media del campione. Per entrambi i criteri, nessun partecipante è stato identificato come outlier (per l'accuratezza nessun partecipante è sceso al di sotto del 60%, mentre per i tempi di reazione nessuno superava 2.5 DS).

Per studiare la relazione tra le due versioni dei compiti l'analisi principale riguarda una regressione lineare per due misure di prestazione: il d' (che rappresenta la sensibilità al segnale, cioè la capacità di discriminare tra trial go e no-go e quindi di rispondere accuratamente), e i tempi di reazione nelle risposte ai trial go. Per ottenere il valore d' , abbiamo usato la formula $d' = z(\text{FA}) - z(\text{HIT})$, cioè per ogni compito sono state calcolate

le proporzioni di risposte Hit e Falsi Allarmi (FA), ossia le risposte (errate) date ai trial no-go. Successivamente è stata applicata una correzione per i valori Hit o FA uguali a 0 e 1. Abbiamo calcolato anche il valore di C (bias), che rappresenta la tendenza dei partecipanti a rispondere, come $C = -0,5 \times [z(\text{FA}) + z(\text{HIT})]$. Queste misure sono state confrontate tra i due compiti attraverso t-test per campioni appaiati con $\alpha=0.05$. Tra le analisi secondarie ci siamo interessati all'effetto del delay nella presentazione dei trial no-go e all'effetto della manipolazione della distanza semantica tra i concetti nel compito semantico.

Il software utilizzato per le analisi è il software ad accesso libero Jamovi (versione 2.3.6).

3.3 Risultati

I risultati dell'analisi primaria sono descritti in Tabella 3.3. Per quanto riguarda le accuratezze misurate attraverso il valore d' , il valore medio nel compito esecutivo e semantico era 4.10 ($DS = 1.22$) e 4.25 ($DS = 1.15$), rispettivamente, indicando un'ottima abilità di discriminazione. Questi valori sono risultati essere simili tra i due compiti ($t(146) = 1.73$, $p = 0.084$) e con una correlazione positiva significativa ($p < 0.001$), come mostra il Grafico 3.1 e l'indice r di Pearson riportato in tabella pari a 0.405.

	r	t	p
d'	0.405	6.94	< 0.001
RT	0.549	10.5	< 0.001
C	0.149	2.37	0.018

Tabella 3.3 Parametri ottenuti attraverso le regressioni lineari rispettivamente per i valori di d' (accuratezza), C (bias) e RT (tempi di risposta).

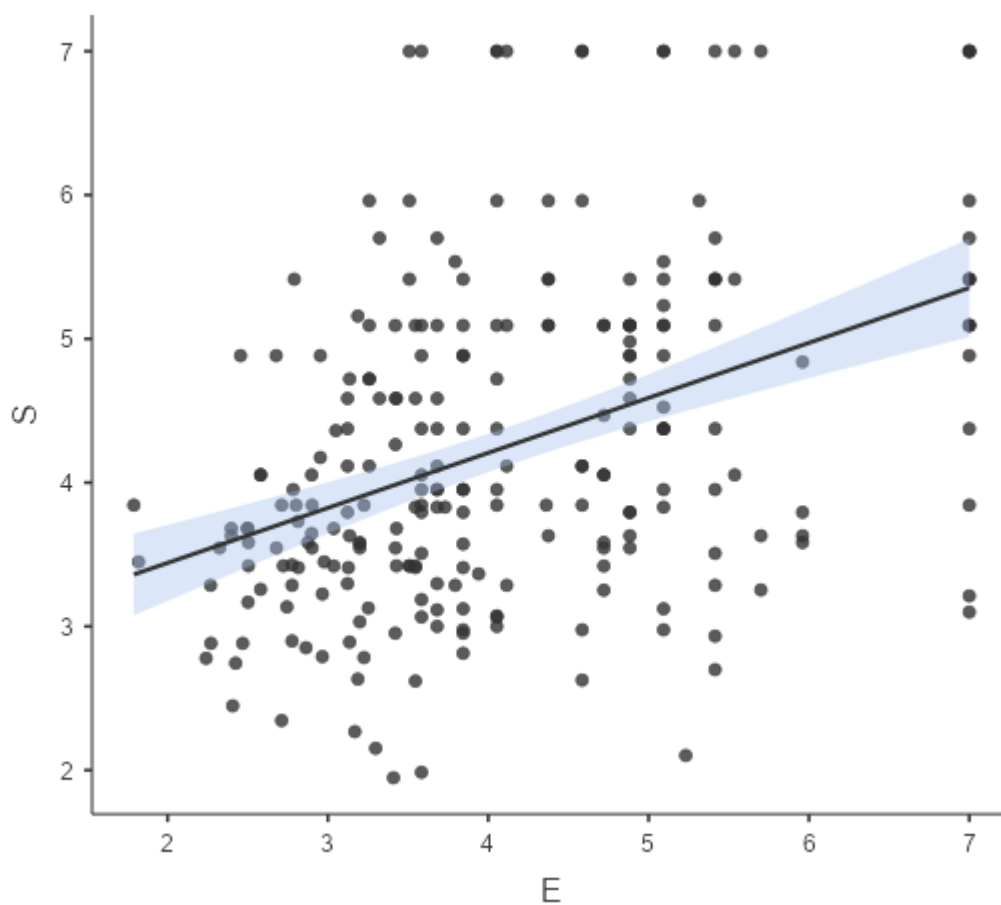


Grafico 3.1 Grafico a dispersione della distribuzione dei punteggi d' dei partecipanti con retta di regressione approssimata ed errore standard (area azzurra). E: compito esecutivo; S: compito semantico.

Per quanto riguarda i tempi di risposta (vedi Grafico 3.2), i valori per i due compiti sono risultati diversi ($t(146) = 71.65, p < 0.001$), in particolare il compito esecutivo è risultato meno dispendioso in termini di tempo (media = 327 ms; $DS = 36$ ms) rispetto al semantico (media = 522 ms; $DS = 85$ ms), ma allo stesso tempo risultano anch'essi, come i d' , avere una correlazione positiva significativa ($r = 0.549, p < .001$).

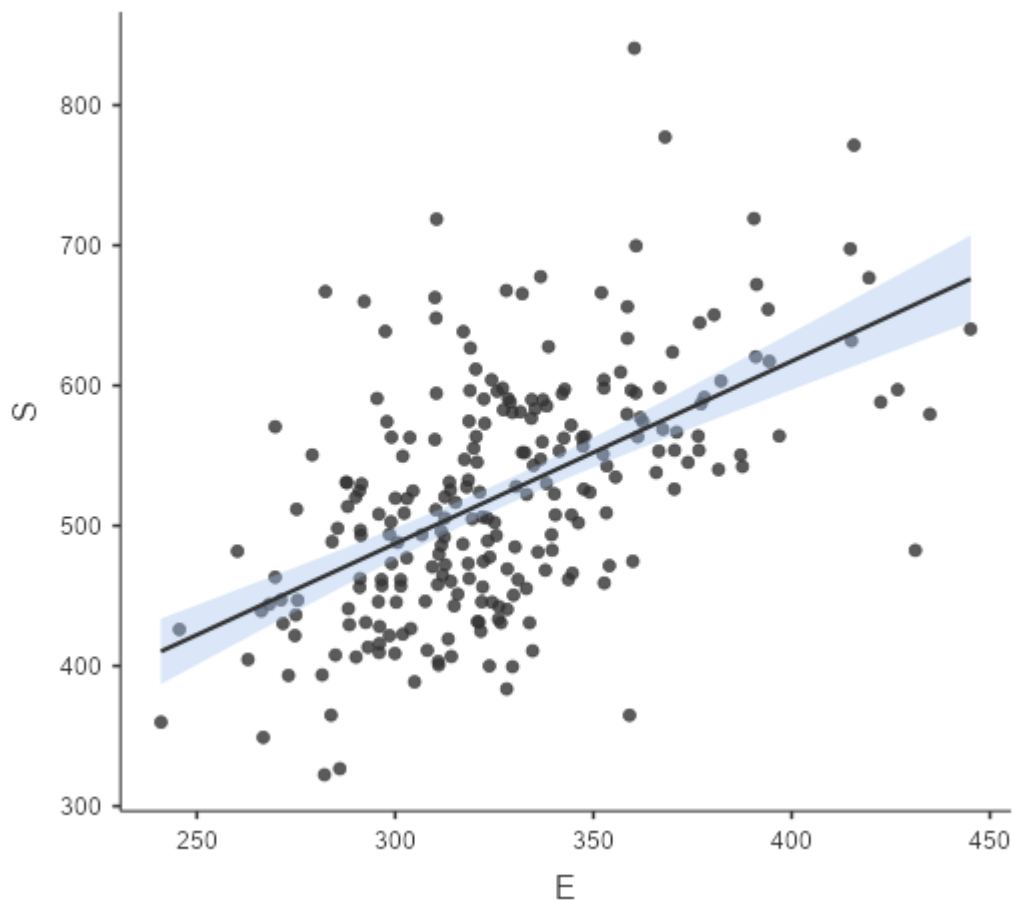


Grafico 3.2 Grafico a dispersione della distribuzione dei tempi di risposta (RT) dei partecipanti con retta di regressione approssimata ed errore standard (area azzurra). E: compito esecutivo; S: compito semantico

L'analisi sui valori di C mostra come questi sono diversi tra i due compiti ($t(146) = 3.53$, $p < 0.001$), con una maggior tendenza a rispondere nel compito esecutivo rispetto a quello semantico. In altre parole, i partecipanti avevano la tendenza a fare più FA, ossia una maggiore tendenza a rispondere ai trial no-go. Infatti la media dei valori C dei partecipanti nei due compiti era di 0.492 ($DS = 0.433$) per l'esecutivo e 0.351 ($DS = 0.520$) nel semantico. Ciononostante, è stata osservata una correlazione significativa nella tendenza a rispondere nei due compiti ($p = 0.018$). La maggior tendenza a rispondere nel compito esecutivo piuttosto che in quello semantico potrebbe indicare che il "prime" nel compito semantico abbia influenzato il numero di risposte date dai partecipanti ai trial no-go.

Questo è avvalorato dal fatto che l'analisi sui FA, cioè la proporzione di risposte date nei no-go, dimostra come questi valori nei due compiti sono significativamente diversi ($t(146) = 6.21, p < 0.001$), con maggiori FA nel compito esecutivo (9.67%, $DS = 7.1\%$) rispetto al semantico (6.92%, $DS = 5.8\%$).

All'infuori del risultato ottenuto per gli stimoli "prime", la manipolazione della distanza semantica tra i concetti nel compito semantico non è risultata significativa, infatti, l'andamento dell'accuratezza per i vari trial no-go risulta essere stabile ($r = -0.040, p = 0.819$; vedi Grafico 3.3).

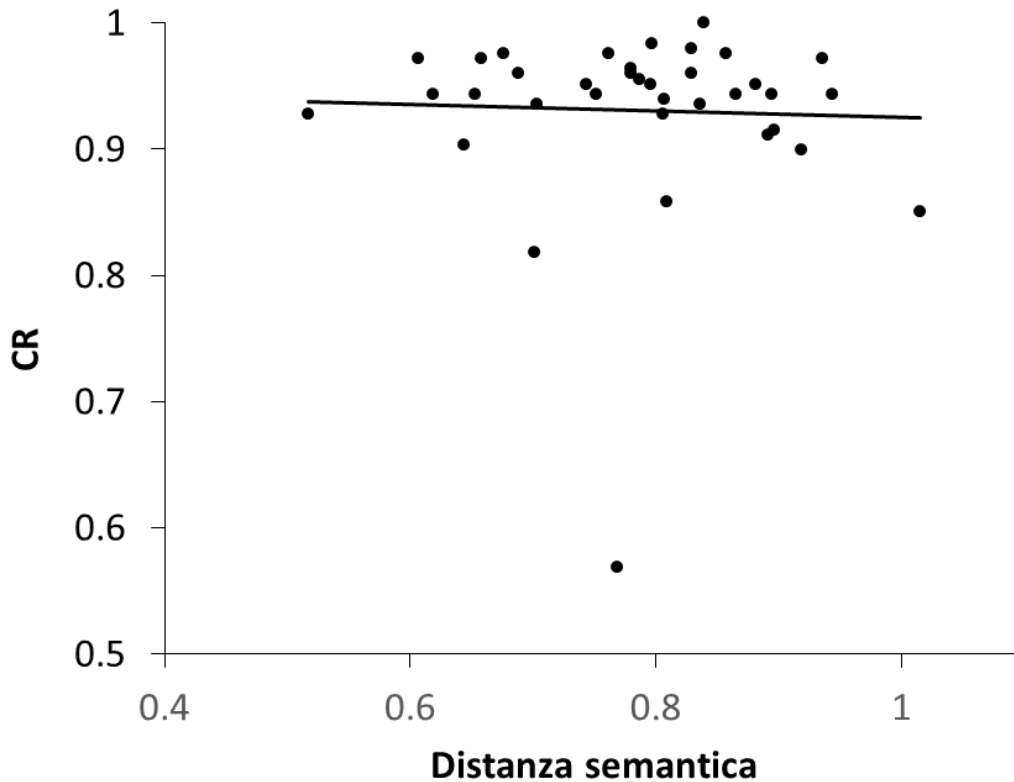


Grafico 3.3 Grafico a dispersione dell'andamento dell'accuratezza ai trial no-go (CR, asse y) in base alla distanza semantica (asse x).

Per quanto riguarda le analisi secondarie, l'effetto del delay è stato calcolato sia sui tempi di risposta medi nei trial go, sia sull'accuratezza nei trial no-go (CR). Nel primo caso, come si può vedere nel Grafico 3.4, con il passare del numero di trial go i partecipanti aumentano i tempi di risposta, in modo simile nei due tipi di compiti ($r = 0.946$ e 0.902 , $p = 0.004$ e 0.014 per il compito esecutivo e semantico, rispettivamente).

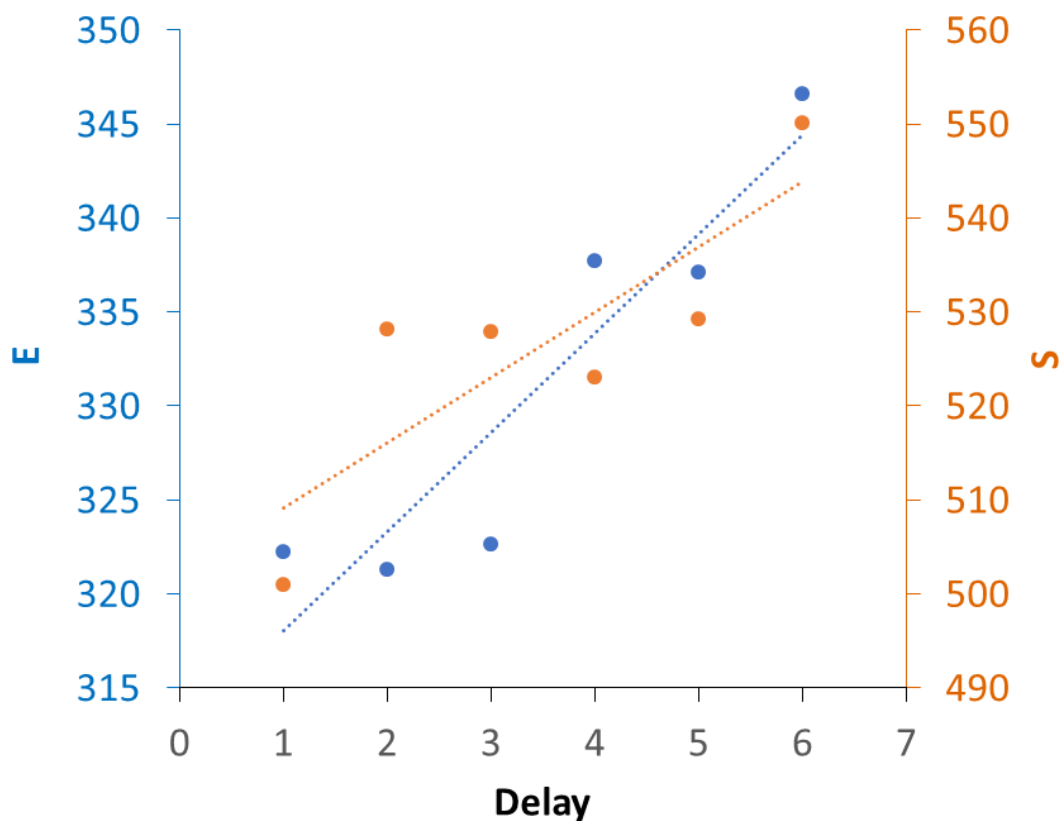


Grafico 3.4 Rappresentazione dell'andamento dei tempi medi di risposta dei partecipanti all'aumentare del numero di trial dall'ultimo no-go. Compito esecutivo = blu; compito semantico = arancione.

In relazione all'accuratezza ai trial no-go (vedi Grafico 3.5), invece, abbiamo visto che nel compito esecutivo (blu) all'aumentare dei trial aumenta anche l'accuratezza ($r = 0.871$, $p = 0.05$), mentre per il compito semantico (arancione) non si è riscontrato tale effetto ($r = -0.261$, $p = 0.672$) e i partecipanti risultano sempre generalmente più accurati rispetto all'altro compito.

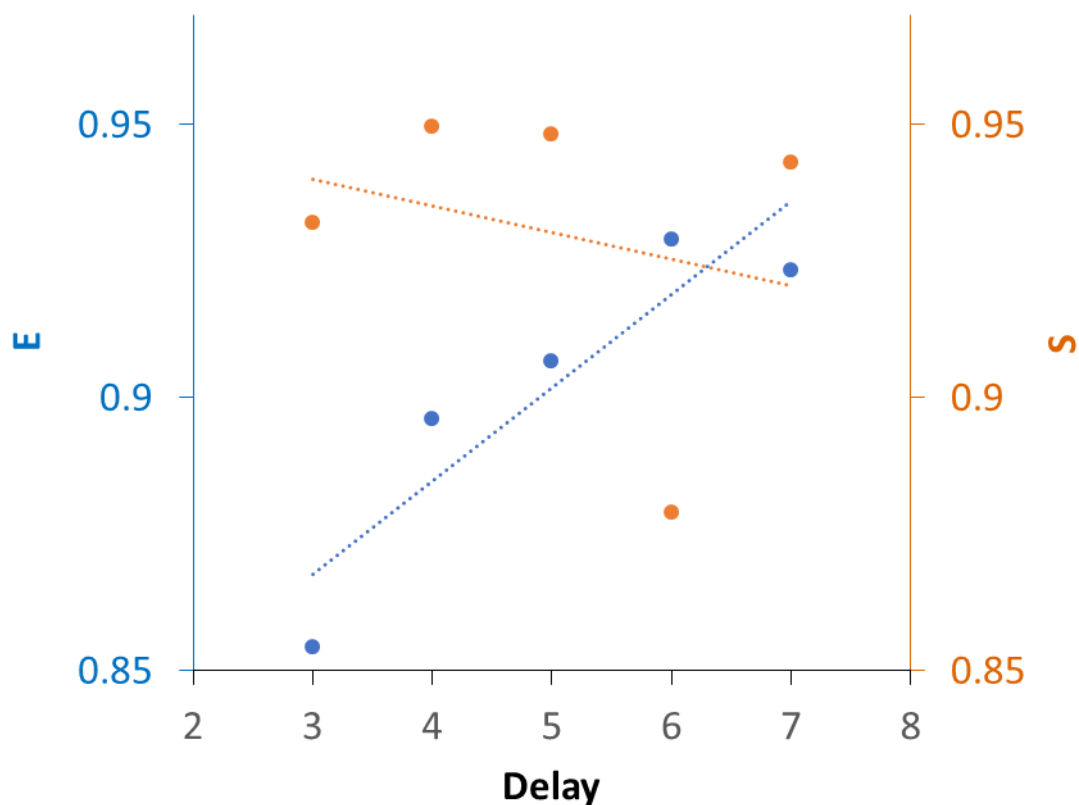


Grafico 3.4 Rappresentazione dell'andamento dell'accuratezza media dei partecipanti ai trial no-go (CR) all'aumentare del numero di trial dall'ultimo no-go. Compito esecutivo=blu; compito semantico=arancione.

3.4 Discussione

Come abbiamo visto nel capitolo precedente, sono molti gli studiosi che si sono interessati al funzionamento della cognizione semantica e delle sue due componenti, rappresentazione e controllo semantico, primi fra tutti Lambon Ralph e collaboratori (2017) che hanno costruito l'impianto teorico su cui si baseranno poi le ricerche successive. Tra gli argomenti racchiusi nell'area della cognizione semantica, il nostro studio si è impegnato ad indagare il legame tra controllo semantico ed esecutivo tramite la somministrazione di due compiti di go/no-go, uno semantico e uno esecutivo in partecipanti sani. Questo argomento è stato l'obiettivo di diversi studi che si sono avvalsi

principalmente di pazienti affetti da deficit a livello semantico legati a demenza e afasia semantica (Thompson et al., 2018; Montefinese et al., 2020). Tutti gli studi precedentemente illustrati hanno mostrato come sia presente un legame tra controllo semantico ed esecutivo e i nostri risultati rimangono in accordo con questi della letteratura. Dall'analisi abbiamo potuto riscontrare che generalmente i partecipanti sono stati più veloci nel compito esecutivo rispetto al semantico ma non differivano nell'accuratezza (in termini di d'). Questo effetto potrebbe essere dato dal fatto che nel compito semantico gli stimoli erano delle immagini più complesse e dettagliate dei concetti, mentre in quello esecutivo gli stimoli da elaborare erano molto semplici (due semplici cerchi colorati) e, quindi, richiedevano un'analisi visiva meno impegnativa.

Nonostante queste differenze tra i due compiti, abbiamo trovato la presenza di una correlazione positiva tra queste due componenti, sia per tempi di reazione che per accuratezza. Questo risultato suggerisce che i processi di controllo esecutivo e semantico hanno un fattore comune che spiega parte della prestazione dei partecipanti in un compito di inibizione motoria (ossia un compito di go/no-go). Questo risultato è in linea con studi precedenti che hanno trovato un legame tra la componente di controllo semantico della cognizione semantica e le funzioni esecutive (Chiou et al., 2018; Whitney et al., 2011; Davey et al., 2016; Lambon Ralph et al., 2017). Diversamente dagli studi discussi nel capitolo precedente (Jefferies et al., 2006; Corbett et al., 2009) che si basavano su pazienti con afasia semantica, il nostro studio ha il merito di estendere la relazione riscontrata tra le due funzioni fonte di indagine anche ai partecipanti sani. Questo risultato, quindi, mette in luce il fatto che queste due funzioni cognitive interagiscono non solo quando è presente un deficit di controllo semantico, ma anche quando le due funzioni sono integre. Altro fattore di novità introdotto dal nostro studio, che ha permesso di eliminare una criticità

spesso individuata negli altri studi precedenti, riguarda l'aver utilizzato lo stesso tipo di compito per confrontare le funzioni di controllo semantiche ed esecutive. Infatti negli studi precedentemente citati il confronto delle due funzioni avveniva su compiti diversi, portando quindi a critiche riguardo l'effettiva comparabilità dei risultati. Qui, invece, usando uno stesso compito in cui da una parte è richiesto il controllo di un'informazione semantica (la codifica della categoria dei concetti) e dall'altra è richiesto il controllo esecutivo, abbiamo ottenuto dati direttamente comparabili per le due funzioni cognitive, limitando questa criticità.

Altro punto focale del nostro studio riguarda le manipolazioni operate sul numero degli stimoli presentati tra trial no-go. Abbiamo potuto osservare che, all'aumentare dell'attesa (ossia, all'aumentare del numero di trial go) per la presentazione dello stimolo no-go, in entrambi i compiti i partecipanti impiegavano maggior tempo per rispondere, mentre, per l'accuratezza, questo effetto era presente solo nel compito esecutivo (ossia, all'aumentare dell'attesa i partecipanti erano anche più accurati). Questo rallentamento generale in entrambi i compiti potrebbe essere dovuto al fatto che i partecipanti man mano che venivano presentati gli stimoli go, si aspettavano sempre con maggiore probabilità che il trial successivo potesse essere un trial no-go, e quindi tendevano a essere più cauti (e lenti) nella risposta. Nel compito semantico questo effetto non era presente per l'accuratezza molto probabilmente per la presenza di uno stimolo "prime" che veniva presentato sempre prima di uno stimolo no-go. La presenza di questo segnale "prime" fungeva quindi da facilitatore sulla prestazione dei partecipanti. La presenza dello stimolo "prime" nel compito semantico spiegherebbe anche il pattern dei risultati per la misura di bias della risposta e sui falsi allarmi dei partecipanti. Infatti, i risultati hanno mostrato che i partecipanti avevano la tendenza a rispondere più spesso ai trial no-go nel compito

esecutivo rispetto al semantico. Questo risultato è stato confermato dall'analisi sui falsi allarmi, cioè la proporzione di risposte date nei no-go, che risultava maggiore nel compito esecutivo rispetto al semantico.

Sulla scia di questo effetto facilitante prodotto dal “prime”, ci aspettavamo un effetto della distanza semantica tra i concetti, in particolare, tra il cosiddetto “prime” go e il successivo stimolo no-go, in linea con diversi studi in letteratura che hanno trovato un effetto della distanza semantica tra i concetti in diversi compiti semantici. Per esempio, due studi di Montefinese e collaboratori (2015; 2018) hanno riscontrato effetti della distanza semantica nella produzione di falsi ricordi in compiti di riconoscimento e in compiti di priming semantico. Tuttavia, nel nostro studio non abbiamo trovato nessun effetto della vicinanza semantica tra questi concetti. Questo risultato potrebbe esser dovuto alla mancanza di una condizione di controllo nel compito semantico (ossia dove i trial no-go erano preceduti da un trial go non legato semanticamente). Infatti, come già precedentemente menzionato, nel nostro compito semantico tutti i concetti dei trial no-go erano legati al trial che li precedeva. Può essere che questa manipolazione sperimentale non ci abbia permesso di trovare un effetto “fine” della distanza semantica (come quello trovato in studi precedenti; vedi Montefinese et al., 2015; 2018), non possiamo tuttavia escludere l'esistenza di un effetto “tetto” della distanza semantica o un eventuale effetto "categoriale" della distanza semantica (ossia, un effetto significativo tra coppie di concetti ad alta versus bassa distanza semantica). Ulteriori analisi e l'aggiunta di una condizione di controllo come quella indicata sopra in studi futuri potrebbero aiutare a chiarire questo risultato.

Conclusioni

Questo studio ci aiuta ad indagare la relazione tra cognizione semantica e funzioni esecutive, in particolare tra controllo semantico ed esecutivo, attraverso un compito di go/no-go. Siamo partiti prendendo in considerazione gli studi comparativi fatti su pazienti con afasia semantica ma con questo studio abbiamo cercato di usare compiti che creino meno interferenze possibili con altre funzioni per poter testare al meglio quelle richieste. I risultati sono in linea con la teoria della cognizione semantica controllata (Lambon Ralph et al., 2017), secondo cui c'è una relazione tra cognizione semantica e funzioni esecutive, ed è in accordo anche con i dati di neuroimmagine che mostrano la sovrapposizione tra aree attivate in compiti di controllo semantico e compiti esecutivi (Chiou et al., 2018; Davey et al., 2016), indicando, quindi, una relazione tra questi due tipi di funzioni.

Il nostro studio ha permesso di mettere in luce che funzioni esecutive e cognizione semantica interagiscono e che la loro relazione necessita di maggiore attenzione nell'ambito clinico per costruire strumenti riabilitativi volti a indagare in modo specifico queste funzioni e la loro interdipendenza. Ciò implica anche la necessità di rielaborare l'impianto testistico per poter analizzare al meglio e distinguere adeguatamente i deficit delle funzioni esecutive e della cognizione semantica, attraverso compiti che siano in grado di differenziare e separare l'apporto delle funzioni esecutive da quello del controllo semantico cercando di controllare per quanto possibile altre variabili confondenti.

I risultati che abbiamo ottenuto dal nostro studio si basano puramente sull'osservazione dell'outcome comportamentale del funzionamento di controllo semantico ed esecutivo e ci hanno chiaramente indicato come queste funzioni interagiscano. Tuttavia, per

comprendere al meglio l'effettivo legame tra cognizione semantica e funzioni esecutive sarebbe necessaria, oltre ad un'analisi comportamentale, anche un'analisi dell'attività cerebrale che non abbiamo investigato in questo studio. Ricerche future potrebbero coprire tale lacuna per comprendere al meglio la vera natura ed entità del legame tra cognizione semantica e funzioni esecutive.

BIBLIOGRAFIA

- Acosta-Cabronero, J., Patterson, K., Fryer, T. D., Hodges, J. R., Pengas, G., Williams, G. B., & Nestor, P. J. (2011). Atrophy, hypometabolism and white matter abnormalities in semantic dementia tell a coherent story. *Brain: a journal of neurology*, 134(Pt 7), 2025–2035. <https://doi.org/10.1093/brain/awr119>.
- Andrews, M. A., D. P. Vinson & Vigliocco, G. (2009). Integrating experiential and distributional data to learn semantic representations. *Psychological Review* 116. 463–498.
- Badre, D., Poldrack, R. A., Paré-Blagoev, E. J., Insler, R. Z., & Wagner, A. D. (2005). Dissociable Controlled Retrieval and Generalized Selection Mechanisms in Ventrolateral Prefrontal Cortex. *Neuron*, 47(6).
- Balota, D. A., & Paul, S. T. (1996). Summation of activation: Evidence from multiple primes that converge and diverge within semantic memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 22, 827–845.
- Baroni, M., & Kilgarriff, A. (2006). Large linguistically-processed web corpora for multiple languages. In Proceedings of ACL (pp. 87–90). Association for Computational Linguistics.
- Barsalou, L. W., A. Santos, W. K. Simmons & Wilson, C. D. (2008). Language and simulation in conceptual processing. In M. De Vega, A. M. Glenberg & A. C. Graesser (eds.), *Symbols, embodiment, and meaning*. Oxford: Oxford University Press.
- Binney, R.J., Embleton, K.V., Jefferies, E., Parker, G.J.M., Lambon Ralph, M.A. (2010). The ventral and inferolateral aspects of the anterior temporal lobe are crucial in semantic memory: evidence from a novel direct comparison of distortion-corrected fMRI, rTMS, and semantic dementia. *Cereb. Cortex* 20, 2728–2738.
- Bedny M., McGill M., Thompson-Schill S.L. (2008). Semantic adaptation and competition during word comprehension. *Cereb Cortex*. 18:2574—2585.
- Buccino, G., L. Riggio, G. Melli, F. Binkofski, V. Gallese & Rizzolatti, G. 2005. Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: A combined TMS and behavioural study. *Cognitive Brain Research* 24. 355–363.
- Boulenger, V., V. Deprez, M. Jeannerod, T. A. Nazir, Y. Paulignan & A. C. Roy. 2006. Cross-talk between language processes and overt motor behaviour in the first 200msec of processing. *Journal of Cognitive Neuroscience* 18(10). 1607–1615.
- Campanella, F., Crescentini, C., Mussoni, A., Skrap, M. (2012) Refractory semantic access dysphasia resulting from resection of a left frontal glioma. *Neurocase* 19, 1 – 9.
- Chen, Y., Huang, L., Chen, K., Ding, J., Zhang, Y., Yang, Q., Lv, Y., Han, Z., & Guo, Q. (2020). White matter basis for the hub-and-spoke semantic representation: evidence from semantic dementia. *Brain*, 143:4, 1206-1219.
- Chiou, R., Humphreys, G. F., Jung, J., & Lambon Ralph, M. A. (2018). Controlled semantic cognition relies upon dynamic and flexible interactions between the executive

- 'semantic control' and hub-and-spoke 'semantic representation' systems. *Cortex*, 103, 100–116.
- Clarke, A. & Tyler, L. K. (2015). Understanding what we see: how we derive meaning from vision. *Trends Cogn. Sci.* 19, 677–687.
- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82(6), 407.
- Collins, A. M., & Quillian, M. R. (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 8(2), 240–247.
- Corbett, F., Jefferies, E., Ehsan, S., Lambon Ralph, M.A. (2009). Different impairments of semantic cognition in semantic dementia and semantic aphasia: evidence from the non-verbal domain. *Brain* 132, 2593– 2608.
- Crutch, S.J., Warrington, E.K. (2003). Spatial coding of semantic information: knowledge of country and city names depends on their geographical proximity. *Brain* 126, 1821–1829.
- Crutch, S.J., Warrington, E.K. (2008). The influence of refractoriness upon comprehension of non-verbal auditory stimuli. *Neurocase* 14, 494 – 507.
- Davey, J., Thompson, H. E., Hallam, G., Karapanagiotidis, T., Murphy, C., De Caso, I., Krieger-Redwood, K., Bernhardt, B. C., Smallwood, J., & Jefferies, E. (2016). Exploring the role of the posterior middle temporal gyrus in semantic cognition: Integration of anterior temporal lobe with executive processes. *NeuroImage*, 137, 165–177.
- Della Rosa, P. A., Catricalà, E., Vigliocco, G., & Cappa, S. F. (2010). Beyond the abstract–concrete dichotomy: Mode of acquisition, concreteness, imageability, familiarity, age of acquisition, context availability, and abstractness norms for a set of 417 Italian words. *Behavior Research Methods*, 42, 1042–1048.
- Devlin, J. T., Gonnerman, L. M., Andersen, E. S., & Seidenber, M. S. (1998). Category-specific semantic deficits in focal and widespread brain damage: a computational account. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 77-94.
- Dry, M. J., & Storms, G. (2009). Similar but not the same: A comparison of the utility of directly rated and feature-based similarity measures for generating spatial models of conceptual data. *Behavior Research Methods*, 41, 889–900.
- Duncan, J. (2010). The multiple-demand (MD) system of the primate brain: mental programs for intelligent behaviour. *Trends Cogn Sci.* 14:172--179.
- Fedorenko, E., Duncan, J.D., Kanwisher, N. (2013). Broad domain generality in focal regions of frontal and parietal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110, 16616–16621.
- Fernandino, L., Tong, J. Q., Conant, L. L., Humphries, C. J., & Binder, J. R. (2022). Decoding the information structure underlying the neural representation of concepts.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 119(6), e2108091119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2108091119>

Forde, E., Humphreys, G. (1995). Refractory semantics in global aphasia: on semantic organisation and the access–storage distinction in neuropsychology. *Memory* 3, 265–307.

Freedman, M.L., Martin, R.C., Biegler, K. (2004). Semantic relatedness effects in conjoined noun phrase production: implications for the role of short-term memory. *Cogn. Neuropsychol.* 21, 245–265.

Gaillard, R., L. Cohen, S. Dehaene, A. Del Cul, L., Naccache & Vinckier, F. (2006). Nonconscious semantic processing of emotional words modulates conscious access. *PNAS* 103. 7524–7529.

Garrard, P., Lambon Ralph, M. A., Hodges, J. R., & Patterson, K. (2001). Prototypicality, distinctiveness, and intercorrelation: Analyses of the semantic attributes of living and non-living concepts. *Cognitive Neuropsychology*, 18, 125–174.

Gomez, P., Ratcliff, R., & Perea, M. (2007). A model of the go/no-go task. *Journal of experimental psychology. General*, 136(3), 389–413.

Gotts, S.J. & Plaut, D.C. (2002). The impact of synaptic depression following brain damage: a connectionist account of ‘access/refractory’ and ‘degraded-store’ semantic impairments. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 2, 187–213.

Griffiths, T. L., M. Steyvers & Tenenbaum, J. B. (2007). Topics in semantic representation. *Psychological Review* 114. 211–244.

Harnad, S. (1990). The symbol grounding problem. *Physica* 42. 335.

Harris, Z. (1970). Distributional structure. In *Papers in Structural and Transformational Linguistics* (pp. 775–794). Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company.

Hebb, D. (1949). *The organization of learning*. Cambridge, MA: MIT Press.

Hills, A. E., & Caramazza, A. (1991). Category-specific naming and comprehension impairment: a double dissociation. *Brain*, 11, 2081-2094.

Hodges, J. R., Mitchell, J., Dawson, K., Spillantini, M. G., Xuereb, J. H., McMonagle, P., Nestor, P. J., & Patterson, K. (2010). Semantic dementia: demography, familial factors and survival in a consecutive series of 100 cases. *Brain: a journal of neurology*, 133(Pt 1), 300–306.

Hoffman, P. (2018). An individual differences approach to semantic cognition: Divergent effects of age on representation, retrieval and selection. *Scientific Reports*, 8(1), 8145.

Hoffman, P., Binney, R.J., Lambon Ralph, M.A. (2015). Differing contributions of inferior prefrontal and anterior temporal cortex to concrete and abstract conceptual knowledge. *Cortex* 63, 250–266.

- Hoffman, P., Rogers, T.T., Lambon Ralph, M.A. (2011). Semantic diversity accounts for the ‘missing’ word frequency effect in stroke aphasia: insights using a novel method to quantify contextual variability in meaning. *J. Cogn. Neurosci.* 23, 2432 – 2446.
- Hsiao, E.Y., Schwartz, M.F., Schnur, T.T., Dell, G.S. (2009). Temporal characteristics of semantic perseverations induced by blocked-cyclic picture naming. *Brain Lang.* 108, 133– 144.
- Humphreys, G.F. & Lambon Ralph, M.A. (2015). Fusion and fission of cognitive functions in the human parietal cortex. *Cereb. Cortex* 25, 3547–3560.
- Jackson, R. L., Hoffman, P., Pobric, G. & Lambon Ralph, M. A. (2015). The nature and neural correlates of semantic association versus conceptual similarity. *Cereb. Cortex* 25, 4319–4333.
- Jefferies, E., Baker, S.S., Doran, M., Lambon Ralph, M.A. (2007). Refractory effects in stroke aphasia: a consequence of poor semantic control. *Neuropsychologia* 45, 1065–1079.
- Jefferies, E. & Lambon Ralph, M. A. (2006). Semantic impairment in stroke aphasia versus semantic dementia: a case-series comparison. *Brain* 129, 2132–2147.
- Jefferies, E., Rogers, T.T., Hopper, S., Lambon Ralph, M.A. (2010). ‘Pre-semantic’ cognition revisited: critical differences between semantic aphasia and semantic dementia. *Neuropsychologia* 48, 248– 261.
- Jones, M. N., & Mewhort, D. J. (2007). Representing word meaning and order information in a composite holographic lexicon. *Psychological Review*, 114(1), 1.
- Kemmerer, D., Castillo, J. G., Talavage, T., Patterson, S., & Wiley, C. (2008). Neuroanatomical distribution of five semantic components of verbs: evidence from fMRI. *Brain and language*, 107(1), 16–43.
- Kremer, G., & Baroni, M. (2011). A set of semantic norms for German and Italian. *Behavior Research Methods*, 43, 97–109.
- Kousta, S. T., Vigliocco, G., Vinson, D. P., Andrews, M., & Del Campo, E. (2011). The representation of abstract words: why emotion matters. *Journal of experimental psychology. General*, 140(1), 14–34.
- Kumar A. A. (2021). Semantic memory: A review of methods, models, and current challenges. *Psychonomic bulletin & review*, 28(1), 40–80.
- Kumar, A. A., Balota, D. A., Habbert, J., Scaltritti, M., & Maddox, G. B. (2019). Converging semantic and phonological information in lexical retrieval and selection in young and older and older adults. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 45(12), 2267–2289.
- Lambon Ralph, M. A., Sage, K., Jones, R. W. & Mayberry, E. J. (2010). Coherent concepts are computed in the anterior temporal lobes. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 107, 2717–2722.

- Lambon Ralph, M. A., Jefferies, E., Patterson, K., & Rogers, T. T. (2017). The neural and computational bases of semantic cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 18, 42–55.
- Lang, P. J., M. M. Bradley & Cuthbert, B. N. (1990). Emotion, attention, and the startle reflex. *Psychological Review* 97. 377–395.
- Lund, K., & Burgess, C. (1996). Producing high-dimensional semantic spaces from lexical co-occurrence. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 28(2), 203–208.
- Marelli, M. (2017). Word-Embeddings Italian Semantic Spaces: a semantic model for psycholinguistic research. *Psihologija*, 50(4), 503-520.
- Marko, M. & Riečanský, I. (2021). The structure of semantic representation shapes controlled semantic retrieval. *Memory*, 29:4, 538-546.
- Martin, A. (2015). GRAPES—Grounding representations in action, perception, and emotion systems: how object properties and categories are represented in the human brain. *Psychon. Bull. Rev.* 23, 1–12.
- McRae, K. (2004). Semantic memory: Some insights from feature-based connectionist attractor networks. *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory*, 45, 41–86.
- McRae, K., De Sa, V. R., & Seidenberg, M. S. (1997). On the nature and scope of featural representations of word meaning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 126(2), 99.
- Meteyard, L. & Vigliocco, G. (2008). The role of sensory and motor information in semantic representation: A review. In P. Calvo and A. Gomila (eds.), *Handbook of cognitive science: An embodied approach*. Oxford: Elsevier.
- Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. arXiv preprint arXiv: 1301.3781.
- Mion, M., Patterson, K., Acosta-Cabronero, J., Pengas, G., Izquierdo-Garcia, D., Hong, Y. T., Fryer, T. D., Williams, G. B., Hodges, J. R., & Nestor, P. J. (2010). What the left and right anterior fusiform gyri tell us about semantic memory. *Brain: a journal of neurology*, 133(11), 3256–3268.
- Mirman, D., & Britt, A. E. (2013). What we talk about when we talk about access deficits. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 369(1634), 20120388.
- Mirman, D., & Magnuson, J. S. (2008). Attractor dynamics and semantic neighbourhood density: Processing is slowed by near neighbours and speeded by distant neighbours. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 34, 65–79.
- Montefinese, M. (2019). Semantic representation of abstract and concrete words: a mini-review of neural evidence. *Journal of neurophysiology*, 121(5), 1585–1587.

- Montefinese, M., Ambrosini, E., Fairfield, B., & Mammarella, N. (2013). Semantic memory: A feature-based analysis and new norms for Italian. *Behav. Res.* 45, 440–461.
- Montefinese, M., Ambrosini, E., Fairfield, B., & Mammarella, N. (2014). Semantic significance: A new measure of feature salience. *Memory & Cognition*, 42, 355–369.
- Montefinese, M., Buchanan, E. M., & Vinson, D. (2018). How well do similarity measures predict priming in abstract and concrete concepts?. <https://doi.org/10.31234/osf.io/ypvgw>
- Montefinese, M., Ciavarro, M., & Ambrosini, E. (2015). What is the right place for atypical exemplars? Commentary: The right hemisphere contribution to semantic categorization: A TMS study. *Frontiers in Psychology*, 6, Article 1349.
- Montefinese, M., Hallam, G., Thompson, H. E., & Jefferies, E. (2020). The interplay between control processes and feature relevance: Evidence from dual-task methodology. *Quarterly journal of experimental psychology* (2006), 73(3), 384–395.
- Montefinese, M., Zannino, G.D., Ambrosini, E. (2015). Semantic similarity between old and new items produces false alarms in recognition memory. *Psychol Res.* Sep;79(5):785-94.
- Moss, E. H., Tyler, L. K., Durrant-Peatfield, M., & Bunn, E. M. (1998). Two eyes of a see-through: impaired and semantic knowledge in a case of selective deficit for non-living things. *Neurocase*, 4, 291-310.
- Naccache, L., C. Adam, M. Baulac, S. Clemenceau, L. Cohen, S. Dehaene, R. Gaillard & Hasboun, D. (2005). A direct intracranial record of emotions evoked by subliminal words. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102. 7713–7717.
- Nagel, I.E., Schumacher, E.H., Goebel, R. D’Esposito, M. (2008). Functional MRI investigation of verbal selection mechanisms in lateral prefrontal cortex. *Neuroimage* 43, 801–807.
- Nematzadeh, A., Miscovic, F., & Stevenson, S. (2016). Simple search algorithms on semantic networks learned from language use. arXiv preprint arXiv:1602.03265. Retrieved from <https://arxiv.org/pdf/1602.03265.pdf>.
- Noonan, K.A., Jefferies, E., Visser, M., Lambon Ralph, M.A. (2013). Going beyond inferior prefrontal involvement in semantic control: evidence for the additional contribution of dorsal angular gyrus and posterior middle temporal cortex. *J. Cogn. Neurosci.* 25, 1824–1850.
- Oppenheim, G.M., Dell, G.S., Schwartz, M.F. (2010). The dark side of incremental learning: a model of cumulative semantic interference during lexical access in speech production. *Cognition* 114, 227–252.
- Owen A.M., Schneider W.X., Duncan, J. (2000). Executive control and the frontal lobe: current issues. *Exp Brain Res.* 133:1--2.

- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual-coding approach*. Oxford: Oxford University Press.
- Patterson, K., Nestor, P. J. & Rogers, T. T. (2007). Where do you know what you know? The representation of semantic knowledge in the human brain. *Nat. Rev. Neuroscience*, 8, 976–987.
- Pennington, J., Socher, R., & Manning, C. (2014). Glove: Global vectors for word representation. In Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP) (pp. 1532-1543).
- Plaut, D.C. (2002). Graded modality-specific specialization in semantics: a computational account of optic aphasia. *Cogn. Neuropsychol.* 19, 603–639.
- Rapp, B. & Caramazza, A. (1993). On the distinction between deficits of access and deficits of storage: a question of theory. *Cogn. Neuropsychol.* 10, 113 – 141.
- Rescorla, R. A., & Wagner, A. R. (1972). A theory of Pavlovian conditioning: Variations in the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement. *Classical Conditioning II: Current Research and Theory*, 2, 64–99.
- Rumelhart, D. E., & Todd, P. M. (1993). Learning and connectionist representations. *Attention and Performance XIV: Synergies in Experimental Psychology, Artificial Intelligence, and Cognitive Neuroscience*, 3–30.
- Subsevit, D. S., Medler, D. A., Seidenberg, M., & Binder, J. R. (2005). Modulation of the semantic system by word imageability. *NeuroImage*, 27(1), 188–200. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.04.012>
- Sartori, G., Gnoato, F., Mariani, I., Prioni, S., & Lombardi, L. (2007). Semantic relevance, domain specificity and the sensory/functional theory of category specificity. *Neuropsychologia*, 45, 966–976.
- Schnur, T.T., Schwartz, M.F., Brecher, A.R., Hodgson, C. (2006). Semantic interference during blocked-cyclic naming: evidence from aphasia. *J. Mem. Lang.* 54, 199– 227.
- Setti, A., & Caramelli, N. (2005). Different domains in abstract concepts. In B. Bara, L. Barsalou, & M. Bucciarelli (Eds.), Proceedings of the XXVII Annual Conference of the Cognitive Science Society (pp. 1997-2002). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Siakaluk, P.D., Buchanan, L., & Westbury, C. (2003). The effect of semantic distance in yes/no and go/no-go semantic categorization tasks. *Memory & Cognition*, 31 (1), 100-113.
- Smith, E. E., Shoben, E. J., & Rips, L. J. (1974). Structure and process in semantic memory: A featural model for semantic decisions. *Psychological Review*, 81(3), 214.
- Steyvers, M., & Tenenbaum, J. B. (2005). The large-scale structure of semantic networks: Statistical analyses and a model of semantic growth. *Cognitive Science*, 29(1), 41–78.

- Stoet, G. (2017). PsyToolkit: A Novel Web-Based Method for Running Online Questionnaires and Reaction-Time Experiments. *Teaching of Psychology*, 44(1), 24–31.
- Thompson, H. E., Almaghyuli, A., Noonan, K. A., Barak, O., Lambon Ralph, M. A., & Jefferies, E. (2018). The contribution of executive control to semantic cognition: Convergent evidence from semantic aphasia and executive dysfunction. *Journal of neuropsychology*, 12(2), 312–340.
- Thompson-Schill, S.L., D’Esposito, M., Aguirre, G.K., Farah, M.J. (1997). Role of left inferior prefrontal cortex in retrieval of semantic knowledge: a reevaluation. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 94:14792--14797.
- Thompson-Schill, S.L., Swick, D., Farah, M.J., D’Esposito, M., Kan, I.P., Knight, R.T. (1998). Verb generation in patients with focal frontal lesions: a neuropsychological test of neuroimaging findings. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 95:15855--15860.
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In *Organization of memory* (pp. xiii, 423–xiii, 423). Academic Press.
- Tversky, A. (1977). Features of similarity. *Psychological Review*, 84(4), 327.
- Tyler, L. K., Moss, E. H., Durrant-Peatfield, M., & Levu, J. P. (2000). Conceptual structure and the structure of concepts: a distributed account of category-specific deficits. *Brain and Language*, 75, 195-231.
- Vatansver, D., Bzdok, D., Wang, H. T., Mollo, G., Sormaz, M., Murphy, C., Karapanagiotidis, T., Smallwood, J., & Jefferies, E. (2017). Varieties of semantic cognition revealed through simultaneous decomposition of intrinsic brain connectivity and behaviour. *NeuroImage*, 158, 1–11.
- Vigliocco, G., Meteyard, L., Andrews, M., & Kousta, S. (2009). Toward a theory of semantic representation. *Language and Cognition*, 1(2), 219-247.
- Vivas, J., Vivas, L., Comesaña, A., Coni, A. G., & Vorano, A. (2017). Spanish semantic feature production norms for 400 concrete concepts. *Behavior Research Methods*, 49(3), 1095-1106.
- Wagner, A.D., Pare-Blagoev, E.J., Clark, J., Poldrack, R.A. (2001). Recovering meaning: left prefrontal cortex guides controlled semantic retrieval. *Neuron*. 31:329--338.
- Wang, J., Conder, J. A., Blitzer, D. N., & Shinkareva, S. V. (2010). Neural representation of abstract and concrete concepts: A meta-analysis of neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 31(10), 1459-1468.
- Warrington, E. K. & McCarthy, R. A. (1994). Multiple meaning systems in the brain: A case for visual semantics. *Neuropsychologia* 32. 1465–1473.
- Warrington, E.K. & McCarthy, R.A. (1983). Category specific access dysphasia. *Brain* 106, 859– 878.

Wessel J. R. (2018). Prepotent motor activity and inhibitory control demands in different variants of the go/no-go paradigm. *Psychophysiology*, 55(3), 10.1111/psyp.12871.

Whitney, C., Kirk, M., O'Sullivan, J., Lambon Ralph, M. A. & Jefferies, E. (2011). The neural organization of semantic control: TMS evidence for a distributed network in left inferior frontal and posterior middle temporal gyrus. *Cereb. Cortex* 21, 1066–1075.

Wiemer-Hastings, K., Krug, J., & Xu, X. (2001). Imagery, context availability, contextual constraints and abstractness. In Proceedings of the 23rd Annual Meeting of the Cognitive Science Society (pp. 1106-1111). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Wiemers, E. A., & Redick, T. S. (2019). Task manipulation effects on the relationship between working memory and go/no-go task performance. *Consciousness and cognition*, 71, 39–58.

Zannino, G. D., Perri, R., Pasqualetti, P., Caltagirone, C., & Carlesimo G. A. (2006). Analysis of the semantic representations of living and non-living concepts: a normative study. *Cognitive Neuropsychology*, 23:4,515-540.

Zempleni, M.Z., Renken, R., Hoeks, J.C., Hoogduin, J.M., Stowe, L.A. (2007). Semantic ambiguity processing in sentence context: evidence from event-related fMRI. *Neuroimage*. 34:1270--1279.